

# EVALUACIÓN DE IMPACTO EX ANTE EN LA ADOPCIÓN DE VARIEDADES FORRAJERAS MEJORADAS EN LA ZONA DE LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA

**Karen Enciso Valencia**

Universidad del Valle / Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)

## RESUMEN

Los sistemas ganaderos basados en forrajes desempeñan un papel clave en las economías rurales de los países en desarrollo en términos de seguridad alimentaria y alivio de la pobreza. Sin embargo, se caracterizan por presentar importantes rezagos de productividad y competitividad, los cuales van acompañados de impactos negativos al medio ambiente. Como resultado de ello, se han asignado grandes cantidades de recursos en investigación y desarrollo (I&D) para la mejora del material de forraje, lo cual ha conducido a la liberación de diferentes cultivares con características superiores en términos productivos y ambientales. No obstante, los recursos para I&D del sector agropecuario, que provienen principalmente del sector público, se hacen cada vez más escasos. Por esta razón, es clave cuantificar el impacto económico de la I&D a nivel social, como herramienta para priorizar y asignar los recursos limitados de manera más eficiente. Bajo este contexto, el presente estudio tiene como objetivo analizar el impacto del desarrollo del material *B. brizantha* 26124 cv. Orinoquia, el cual ha sido identificado como promisorio para liberación en la región de los Llanos Orientales de Colombia, a través de un análisis de evaluación ex ante. El análisis utiliza dos metodologías de evaluación en diferentes escalas de agregación: en primer lugar se realiza un modelo de flujo de caja y un análisis cuantitativo de riesgos, con el fin de determinar el impacto de la adopción de la nueva variedad a nivel de productor primario. En segundo lugar, se utiliza un modelo de excedentes económicos para calcular los potenciales beneficios sociales y su distribución entre productores y consumidores. Los resultados sugieren que la inversión en el desarrollo del cultivar Orinoquia es altamente rentable desde un punto de vista privado y social. El valor presente medio del productor primario es de COP 675,570, con una tasa interna de retorno a los recursos propios del 19%, superior a la tasa privada de descuento. Los beneficios sociales para el periodo 2019-2046 son de COP 6.270 y 43.882 millones a nivel regional y nacional, con tasas de retorno social del 24% y 37% respectivamente. Este trabajo muestra que el cultivar Orinoquia tiene un potencial significativo para aumentar tanto la productividad como la rentabilidad, lo cual es clave para la intensificación sostenible en sistemas bajo pastoreo. No obstante, es necesario desarrollar mecanismos adecuados de disseminación y acompañamiento al productor ganadero que permitan generar mayor adopción y garantizar el potencial de productividad de la variedad.

**Palabras clave:** *B. brizantha* 26124 cv. Orinoquia, cambio tecnológico, análisis costo-beneficio excedentes económicos, Colombia

**JEL:** C15, D61, Q16, O18

## Introducción

La ganadería, principalmente a base de forrajes, desempeña un papel clave en la zona tropical en cuanto a la producción de alimentos, seguridad alimentaria y mitigación de la pobreza (Capstaff & Miller, 2018; Peters et al., 2013). Sin embargo, sus bondades en el desarrollo de las comunidades acarrearán igualmente consecuencias negativas en el medio ambiente: se trata de un sector que, a nivel mundial, contribuye con el 14.5% de todas las emisiones antropogénicas de Gases Efecto Invernadero (GEI), las cuales provienen principalmente del proceso de fermentación entérica (Gerber et al., 2013). Asimismo, el sector también se encuentra asociado a problemas de degradación de la tierra, deforestación, contaminación, agotamiento del agua, así como a la pérdida de biodiversidad a través de los cambios en el uso de la tierra en varias regiones del mundo (Steinfeld et al., 2009). Bajo esta perspectiva, y en un contexto de escasez de recursos, incremento en la demanda mundial de alimentos y cambio climático (FAO, 2017), diferentes instituciones como gobiernos, ONG's y organizaciones han desarrollado estrategias para aumentar la productividad, a la vez que se busca mitigar los impactos al medio ambiente. En este sentido, la intensificación sostenible por medio de forrajes mejorados se entiende como una de las estrategias más prometedoras (Rao et al., 2015).

Así, la ganadería en el trópico ha evidenciado la llegada de recursos enfocados en la investigación y el desarrollo (I&D) de innovaciones en germoplasma forrajero capaz de adaptarse a diferentes condiciones de suelo y clima, ofreciendo múltiples beneficios ambientales y con mejores características en términos de calidad y oferta forrajera (Jutzi & Rich, 2016; Peters et al., 2012; Rao et al., 2015). En este contexto, desde la década de los 1970, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) ha realizado importantes avances en investigación para la evaluación, y selección de nuevas accesiones forrajeras, principalmente del género *Brachiaria*<sup>1</sup>. Estas investigaciones han derivado en la liberación de diversos cultivares, los cuales han estado disponibles para los agricultores desde principios del 2000 (Miles et al., 2004). Algunas de estas variedades son: *Brachiaria brizantha* cv. Toledo (CIAT 26110), *B. humidicola* cv. Humidicola (CIAT 679), cv. Llanero (CIAT 6133) y *B. ruziziensis* cv. Kennedy, e híbridos de *Brachiaria* (cv. Mulato, Mulato II, Caimán, Cobra) que han demostrado ser superiores a los cultivares originales de *Brachiaria* (*B. decumbens*) en las condiciones actuales de producción (Miles, Maass, & do Valle, 1996).

En Colombia, el CIAT y AGROSAVIA (antes Corpoica) han llevado a cabo importantes investigaciones sobre pastos *Brachiaria* en la zona de los Llanos Orientales de Colombia, región considerada como estratégica para realizar pruebas agronómicas de adaptación y producción de los materiales, a causa de las condiciones extremas de acidez y baja fertilidad de sus suelos (Rivas

---

<sup>1</sup> Las pasturas del género *Brachiaria* son originarias de África, pero fueron introducidas en América en la década de los 50 y 60. La gramínea *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk fue la primer gramínea forrajera mejorada más difundida en los trópicos latinoamericanos, pero con importantes limitaciones como la susceptibilidad a plagas como el Salivazo (Rivas & Holman, 2004a).

& Holman, 2004a). Específicamente, desde el 2011 al 2015 se ejecutó el programa de investigación: “Evaluación y desarrollo de materiales forrajeros para integrarlos a los sistemas de producción ganaderos de la Orinoquia”, donde se evaluaron 58 accesiones de pasturas tropicales, con el fin de identificar 5 variedades promisorias adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de esta región. Como resultado, entre las variedades identificadas se encontró el cultivar Orinoquia proveniente de la accesión *Brachiaria brizantha* CIAT 26124 como el material más promisorio para producción bovina de carne en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia, dada su buena adaptación a suelos ácidos, alta producción de biomasa y palatabilidad.

La investigación de estas variedades y/o tecnologías en el sector ganadero y, en general del sector agropecuario se reconoce como un poderoso instrumento para acelerar el crecimiento y desarrollo económico (Stads & Beintema, 2009; World Bank, 2007). Sin embargo, dicho proceso precisa la existencia de capacidades científicas y tecnológicas, infraestructura y financiamiento sostenido. En particular, los recursos para investigación agropecuaria provienen en una alta proporción de fondos públicos; por lo cual resulta imprescindible que los productos tecnológicos derivados de dicha I&D sean rentables y viables desde el punto de vista social. Teniendo en cuenta que los fondos para investigación agropecuaria son cada vez más escasos (Stads & Beintema, 2009) resulta importante realizar evaluaciones de impacto que permitan estimar los posibles beneficios de las inversiones en investigación, de manera que contribuyan a establecer prioridades y permitan realizar el proceso de toma de decisiones de forma más estratégica (Maredia, Shankar, Kelley, & Stevenson, 2014).

En este sentido, el objetivo del presente estudio es evaluar el impacto en I&D de la nueva variedad *Braquiaria brizantha* 26124 cv. Orinoquia en la zona de los Llanos Orientales en Colombia, con énfasis en la producción de carne bovina. Para esto, se parte de la utilización de modelos a diferentes escalas de agregación: desde nivel micro hasta nivel macro. En el nivel micro o nivel de finca, se realiza un análisis costo beneficio privado mediante un modelo de flujo de caja libre descontado y un análisis de simulación Monte Carlo. Este modelo sirve para evaluar y analizar el impacto en el contexto de productor primario y determinar si la adopción de la tecnología es económicamente viable a este nivel. En el nivel macro o escala región y país, se utilizó un modelo de excedentes económicos con el fin de estimar y analizar el beneficio potencial agregado a nivel social, y su distribución entre los diferentes grupos sociales: productores y consumidores.

Luego de esta introducción, este documento se encuentra estructurado de la siguiente manera: en un primer lugar se describen los principales resultados de los estudios relacionados con la evaluación de impacto en forrajes mejorados hasta el momento. En segundo lugar se expone la teoría económica que soporta los modelos de evaluación. A continuación se explica la metodología a utilizar, los supuestos y las fuentes de datos necesarios para poder emplear cada uno de ellos. En una cuarta sección, se presentan los resultados del análisis a las dos escalas mencionadas; en el caso del modelo de excedentes económicos, estos se calculan para la región de los Llanos Orientales y el país en su totalidad en tres escenarios distintos (base, optimista y pesimista). Finalmente se presentan conclusiones y recomendaciones.

## 1. Estado del arte

La liberación de nuevas tecnologías forrajeras variedades ha estado acompañada por estudios de impacto económico de tipo ex ante y ex post, que son usados como herramienta para apoyar la priorización de las actividades de investigación (Holmann, 1999; Rica, 2000; Rivas & Holmann, 2004a;2004b). En el contexto de adopción de tecnologías forrajeras, gran parte de los estudios provienen del CIAT y las metodologías usadas incluyen análisis costo beneficio, enfoques econométricos, métodos de programación y métodos de excedentes económicos. Este último se destaca como el enfoque más utilizado para la evaluación económica ex ante de los beneficios de un cambio tecnológico, ya que el método presenta una base teórica consistente, requiere la menor cantidad de datos, puede aplicarse a la gama más amplia de situaciones, además tiene en cuenta todos los costos asociados en investigación y desarrollo de la tecnología y permite cuantificar los beneficios sociales resultantes de su adopción (Masters, et al., 1996).

A continuación se presenta una revisión de los estudios económicos realizados alrededor de los forrajes mejorados. Seré & Estrada (1982) evaluaron la rentabilidad de la ceba de ganado en distintas localidades de la Orinoquía y con diferentes tipos de pasturas mejoradas, encontrando Tasas Internas de Retorno (TIR) entre 10.7% y 30.4%. Por su parte, Vera & Seré (1989) encontraron que la rentabilidad de la variedad *Antropogon Gayanus* (Carimagua I) era del 33% en la región de los Llanos y del 78% en la Costa Norte. Estudios posteriores como el de Seré, Estrada, & Ferguson (1993) examinaron la rentabilidad de pasturas tropicales liberadas por CIAT y sus socios locales en América Latina. Los resultados arrojaron una TIR entre 20% y 100%, dependiendo del escenario considerado.

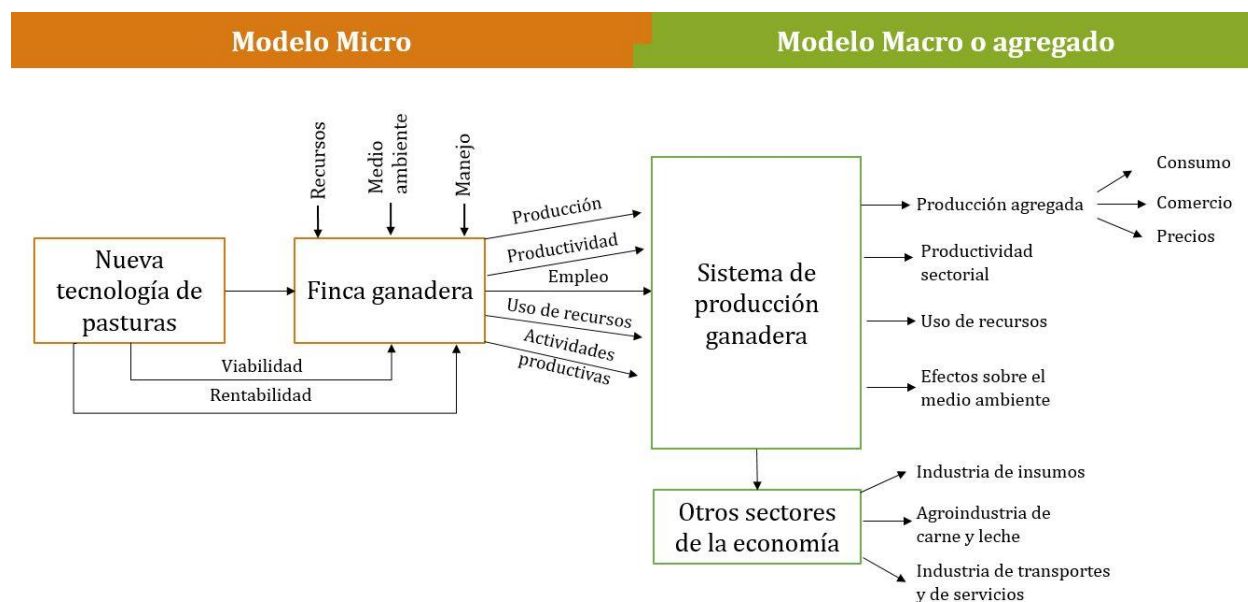
Más recientemente, en Colombia Rivas (2004) estimó el impacto de distintas variedades de *Brachiarias* en la Altillanura Oriental (Puerto López y Puerto Gaitán) en el periodo 1978-2000, encontrando beneficios económicos valuados en COP 50,797 millones. En Caquetá, entre 1986 y 2000 los beneficios fueron estimados en COP 26,386 millones. De manera similar, Rivas & Holmann (2004b) estimaron el impacto potencial de nuevos híbridos de *Brachiarias* resistentes al salivazo en los Llanos orientales y en la Costa Norte de Colombia, por medio de un modelo MODEXC. Los beneficios se estimaron para el 2004 en US\$960 millones, equivalente al 43% de la producción de carne y leche del país en el 2003 (impacto directo sobre el sector ganadero). En general los estudios revisados encontraron resultados positivos para la investigación en alternativas forrajeras con mejores características de tipo productivo y ambiental, como estrategias para una mayor intensificación de la producción. De manera análoga, se han encontrado resultados potenciales en distintas regiones colombianas donde la ganadería es una de las principales actividades económicas.

Sin embargo, de acuerdo a la revisión de literatura realizada, no se tiene conocimiento de estudios de evaluación ex ante enfocados en el género *Brachiaria brizantha* en Colombia, así como estudios a nivel micro donde se incluyan evaluaciones cuantitativas de riesgo, que permitan obtener resultados más robustos y mejorar la toma de decisiones a nivel de productor primario. Este

documento pretende ser un aporte a la literatura en ese sentido. Proporcionando, de esta manera, información útil a donantes sobre los rendimientos en investigación de nuevas variedades con mejores características en términos productivos para la región de los Llanos Orientales.

## 2. Marco teórico

La adopción de una nueva tecnología forrajera tiene impactos potenciales a diferentes niveles de agregación: micro o nivel individual y nivel macro o social:



**Figura 1.** Modelos a diferente escala de agregación (Rivas, 1997)

### *Enfoque micro*

Antes de presentarse el impacto económico asociado al cambio técnico, debe ocurrir un proceso de adopción y difusión de la nueva opción tecnológica por parte de los productores. Por adopción se entiende, en el contexto de las innovaciones tecnológicas, el proceso de decisión individual sobre la aceptación de una innovación, previamente desconocida. Ello implica aprendizaje por la adquisición de información y su incorporación en su función de producción (Seré et al., 1990). Por otro lado, la difusión se refiere al proceso de aceptación de una tecnología por un conjunto de individuos en el tiempo para una región determinada (Rogers, 2003).

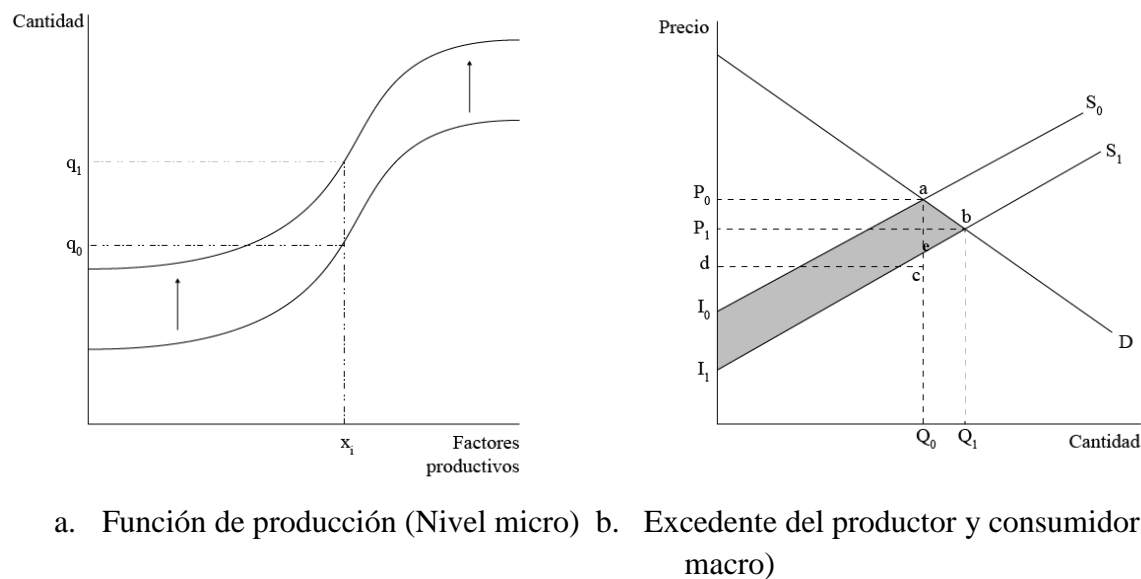
A nivel individual, la adopción de una tecnología implica cambios en términos de uso de recursos, manejo, y nivel de producción en la unidad productiva (Rivas, 1997). El cambio tecnológico, en el sentido del perfeccionamiento de la eficiencia técnica, o del mejoramiento de la tecnología de producción como resultado del desarrollo y aplicación de nuevas o mejores formas de generar productos, es denominado por el Pensamiento Neoclásico progreso tecnológico (Romer, 1990; Aghion & Howitt, 1992; Grossman & Helpman, 1991). Este cambio tecnológico surge por una decisión de inversión intencional hecha por los agentes (en este caso, el productor primario) para maximizar su utilidad (Romer, 1990). El cambio tecnológico se explica, entonces, a la luz de la

acción racional del agente (Nicholson, 2004). Estas mejoras tecnológicas se manifiestan desplazando hacia arriba la función de producción, o hacia abajo la curva de isocuanta; lo que significa mayores niveles de producción con los mismos niveles de inputs o el mismo nivel de output con menor cantidad de inputs, siendo esta última opción una reducción en los costos totales de producción (Nicholson, 2004). Lo que en otras palabras significa, un incremento en los beneficios económicos del productor.

### *Enfoque macro*

A medida que la tecnología se difunde, el equilibrio de mercado se ve afectado, lo que trae impactos sobre el bienestar social y la distribución de los ingresos generados (Alston, Norton, & Pardey, 1995). Para analizar dichos impactos, uno de los enfoques teóricos más comunes en la agricultura es el concepto de la teoría clásica Marshalliana de excedentes económicos. Este se basa en un modelo de equilibrio parcial, que mide el retorno del cambio tecnológico resultado de la I&D, en términos de cambios en el excedente del consumidor y del productor. Estos excedentes se originan en los desplazamientos a través del tiempo de las curvas de oferta y demanda (Alston, Norton, & Pardey, 1995; Currie, Murphy, & Schmitz, 1971; Pachico, Jones, & Lynam, 1984). La idea básica del modelo de excedentes económicos es que la adopción tecnológica aumenta la productividad y/o reduce el costo de producción, y por tanto desplaza la función de oferta del producto hacia abajo y hacia la derecha. Si el mercado del producto es perfectamente competitivo, esto llevará a un aumento en la cantidad intercambiada en el mercado y una caída en el precio. Como resultado, los consumidores se benefician de la reducción del precio y los productores se benefician vendiendo una cantidad mayor a causa del cambio tecnológico. En la medida en que la demanda de mercado sea más inelástica con respecto al precio, mayores son las probabilidades de que los beneficios del cambio técnico se concentren en los consumidores (Calderón, Prada, & Loyo, 2013)

En este caso, el desarrollo y la adopción de una variedad mejorada resultado de un proceso de I&D, trae consigo dos impactos económicos. El impacto inicial se observa a nivel de productor y se manifiesta en un desplazamiento hacia arriba de su función de producción, generando mayor nivel de producción ( $q_1$ ) con el mismo volumen de recursos ( $x_i$ ) (Figura 2a). Cuando se masifica la adopción, los efectos se reflejan en los mercados de los bienes finales, resultando en un desplazamiento de la función de oferta desde  $S_0$  a  $S_1$ , lo cual determina una nueva situación de equilibrio, que resulta en una mayor cantidad de producto comercializada (sube de  $Q_0$  a  $Q_1$ ) a un precio menor (baja de  $p_0$  a  $p_1$ ) (Gráfica 2b). El beneficio total derivado del cambio en la oferta corresponde al área sombreada bajo la curva de demanda y entre las dos curvas de oferta ( $\Delta ET = \text{área } I_0abI_1$ ). Este cambio total puede ser visto como la suma de dos partes: el cambio en el excedente del consumidor ( $\Delta EC = \text{área } P_0abP_1$ ) y el cambio en el excedente del productor ( $\Delta EP = \text{área } P_1bI_1 - \text{área } P_0aI_0$ ).



**Figura 2.** Efectos del cambio tecnológico a diferentes escalas. Fuente: Adaptado de [Alston et al., \(1995, 206\)](#)

### 3. Materiales y Métodos

#### 3.1. Área de estudio

El enfoque geográfico de este estudio es la región de los Llanos orientales de Colombia, integrada por los departamentos del Meta, Casanare, Arauca y Vichada. En esta región la ganadería constituye una de las principales actividades productivas y con mayor presencia en el sector rural, desarrollada principalmente bajo sistemas de producción extensivos, con base en praderas nativas e introducidas como la *B. decumbens* y la *B. humidicola* ([Rincón, et al., 2010](#)). Su importancia económica radica en que ocupa una fracción muy significativa del uso del suelo (13,7 millones de hectáreas que representan el 93% del total de uso agropecuario regional), tiene una participación en el inventario ganadero nacional del 21% (4,9 millones de animales distribuidos en 514 mil predios), contribuye a la oferta total de alimentos y es una fuente importante de generación de ingresos (39% en el PIB agropecuario y el 5.86% del PIB total regional) ([CNA, 2014](#); [DANE, 2016, 2017](#); [ICA, 2017](#)).

**Tabla 1.** Área en pastos, número de predios e inventario ganadero a nivel departamental en la región de los Llanos Orientales de Colombia.

Departamento	Área en Pastos (has)	Número de predios	Inventario bovino (Cabezas)
Arauca	1.627.663	9.936	1.096.641
Casanare	2.936.952	13.946	1.861.776
Meta	4.226.226	14.663	1.734.106
Vichada	4.921.070	1.459	231.684
<b>Total regional</b>	<b>13.711.910</b>	<b>40.004</b>	<b>4.924.207</b>
<b>Total nacional</b>	<b>34.426.621</b>	<b>514.794</b>	<b>23.475.022</b>

**Fuente:** Elaboración propia con base en datos del [CNA, 2014](#); [ICA, 2017](#).

### 3.2. Fuente de datos

En primer lugar, los datos de productividad de la variedad *B. brizantha* 26124 cv. Orinoquia se obtuvieron de evaluaciones en campo llevados a cabo por AGROSAVIA en conjunto con CIAT en la zona de los Llanos Orientales de Colombia. Específicamente las evaluaciones se realizaron en la estación experimental Taluma y el Centro de Investigaciones Carimagua, bajo condiciones de la Altillanura bien drenada con temperaturas medias y precipitación anual de 26°C y 2500 mm respectivamente. La productividad del tratamiento fue calculada como el promedio de la ganancia acumulada de peso a lo largo de un año, bajo un sistema de levante y ceba de ganado bovino. Estas mediciones se realizaron de forma mensual entre 2011 y 2015 a seis grupos de novillos de ganado mestizo en pastoreo. Los animales pastorearon bajo un diseño rotacional con 14 días de ocupación y 28 días de descanso.

La información asociada con la tecnología tradicional usada en la zona se obtuvo por medio de fuentes secundarias, como lo fueron documentos y artículos de investigación de AGROSAVIA con información sobre evaluaciones en campo de la zona de estudio. Para este caso, el escenario base consiste en el uso de las pasturas en monocultivo *B. decumbens* y *B. humidicola*, las cuales fueron introducidas y usadas masivamente en el país hacia 1970 (Rincón et al., 2010). El escenario supone prácticas de manejo adecuadas en términos de fertilización y rotación, con el fin de no sobreestimar los beneficios asociados a la adopción de la nueva variedad.

La información relacionada con los supuestos económicos y tecnológicos, y costos en I&D usados en el modelo de excedentes económicos se obtuvo por medio de consulta a expertos y revisión de documentación. Más adelante, en la sección 3.5 se presentan las fuentes de datos correspondientes a cada parámetro utilizado. Los costos de establecimiento y manejo de las tecnologías a evaluar se calcularon usando la información económica recopilada durante el establecimiento de los ensayos, la cual fue ajustada con la ayuda de expertos de forrajes y ganadería según las condiciones de producción en una finca típica ganadera. Los precios se actualizaron a 2018 de acuerdo a los boletines de precios del Sistema de Información de Precios del Sector Agropecuario (SIPSA) y bases de datos de la Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN).

### 3.3. Características de la nueva tecnología

El cultivar Orinoquia es una nueva alternativa forrajera proveniente directamente de la accesión *Brachiaria brizantha* CIAT 26124, la cual fue recolectada en Karuzi (África) en 1985. La recolección de este material fue realizada por investigadores del CIAT en colaboración con técnicos de ISABU, la institución nacional de investigación de Burundi (África) (Peters, et al., s.f.). La evaluación agronómica y de respuesta animal fue realizada bajo el convenio interinstitucional AGROSAVIA-CIAT (2011-2015). Los resultados de dichas evaluaciones permitieron identificar al cultivar Orinoquia como material promisorio para la producción ganadera en la región de los Llanos Orientales, dado su amplio rango de adaptación a suelos ácidos,

alta producción de biomasa y palatabilidad (M. Sotelo, comunicación personal, 17 de mayo, 2018). No obstante, esta nueva variedad puede ser ampliamente adoptada en otras regiones de Colombia dado su gran rango de adaptación a climas y suelos, esto es, a condiciones de trópico húmedo y subhúmedo, así como en localidades con suelos de mediana a buena fertilidad (Peters, et al., s.f.). A continuación se presenta el resumen de los principales indicadores productivos de la nueva especie a liberar, así como los asociados al escenario base en la región a modo de comparación:

**Tabla 2.** Producción de materia seca, calidad nutricional y respuesta animal de las pasturas evaluadas.

Parámetro	Variable	<i>B. brizantha</i> 26124		Escenario base <sup>1</sup>	
		(Media ± DE)	C.V (%)	(Media ± DE)	C.V (%)
Producción biomasa	Ton MS/ha/año	12		8.25	
Calidad nutricional	Proteína Cruda (% MS)	10-12		7-8	
Respuesta animal	Carga Animal (UGG)	1.78		1.78	
	Ganancia de peso (gr/animal/día)	452 ±46	12	294 ± 43	5.47
	Productividad animal (kg/ha/año)	332 ±42*		274 ± 15*	
	Periodo de levante y ceba (meses) <sup>2</sup>	18		24	

UGG: 450 kg/animal; \* Diferencias estadísticamente significativas  $P < 0.001$ . <sup>1</sup> Valor promedio obtenido en la región para las pasturas *B. decumbens* y *B. humidicola*, según estudios presentados en Rincón et al., (2010); <sup>2</sup> Periodo de tiempo requerido para llevar un animal de peso promedio 200 kg a un peso de venta de 450 kg.

Estas mediciones muestran que la adopción de *B. brizantha* 26124 aumenta el forraje total disponible en un 45% y el contenido de proteína en un 46% respecto al escenario base. Lo anterior se refleja en los resultados de respuesta animal, donde la mayor ganancia de peso fue para la *B. brizantha* 26124 c.v. Orinoquia con un promedio de 332 kg/ha/año, mientras que en el escenario base fue de 294 kg/ha/año, diferencias que fueron estadísticamente significativas ( $p < 0.01$ ). De acuerdo a los datos de ganancia de peso día, el periodo de levante y ceba hasta alcanzar el peso final de venta (de 200 kg a 450 kg) fue de 18 meses para el cultivar Orinoquia y 24 meses para el escenario base. Cabe anotar que de los dos tratamientos, la mayor variabilidad en la respuesta animal fue para el nuevo material, medida por los indicadores de desviación estándar (S.E.) y el coeficiente de variación (C.V.).

### 3.4. Enfoque metodológico análisis costo-beneficio

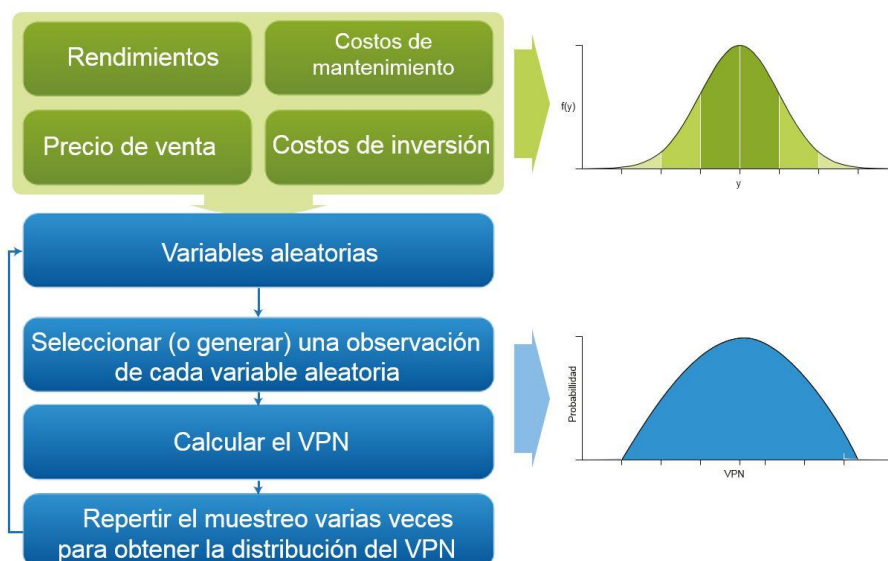
Mediante el análisis costo-beneficio se estimó el impacto a nivel micro – desde el punto de vista del productor- de invertir en el establecimiento de la variedad *Brachiaria brizantha* 26124 cv. Orinoquia para la producción de carne en la región de los Llanos orientales, Colombia. Este

análisis tiene sentido cuando la comparación se hace entre una tecnología tradicional y una novedosa. De esta forma es posible determinar cuáles son los cambios en costos e ingresos asociados a la nueva tecnología. Para este caso particular, la comparación es realizada con las pasturas introducidas en monocultivo: *B. decumbens* y *B. humidicola* (Rincón et al., 2010).

El análisis costo-beneficio se basó en un modelo de flujo de caja libre descontado para la estimación de los indicadores de rentabilidad financiera capaces de medir la viabilidad de los diferentes modelos: tasa interna de retorno (TIR), valor presente neto (VPN), relación beneficio/costo (B/C) y período de recuperación de la inversión (PRI). Dicha evaluación se realizó con base en los principios establecidos por Park (2007) para cada indicador (Anexo 1). Adicional se estimó las áreas rentables mínimas para generar dos Salarios Mínimos Legales Vigentes (SMLV=\$781.242), como indicador a los pequeños propietarios, los cuales experimentan mayores limitaciones de recursos antes de una inversión.

El modelo incluye una categorización sistemática de los costos variables y los beneficios asociados con los dos tratamientos evaluados en un suelo típico de la región de los Llanos orientales de Colombia. Específicamente, las siguientes categorías de costos por hectárea han sido consideradas: costos totales de establecimiento, renovación y mantenimiento de cada tratamiento, costos de oportunidad del capital durante el periodo de establecimiento para ambos tratamientos (3 meses) y costos de operación (compra de animales, sanidad animal, suplementación, personal fijo y ocasional). Por otro lado, los beneficios se derivan de la producción de carne en un sistema de levante y ceba de ganado, según los indicadores de respuesta animal obtenidos (Tabla 2). Adicionalmente, para la construcción del flujo de caja se supone un horizonte de evaluación de 10 años de acuerdo a la vida útil de las pasturas (Holmann & Estrada, 1997), precios constantes, flujos ajustados al ciclo de levante y ceba de cada tratamiento (*B. brizantha* 26124= 18 meses; Escenario base =24 meses) y una tasa de descuento del 10% anual ajustada a dichos ciclos (*B. brizantha* 26124= 15,37%/periodo; Escenario base =21%/periodo).

Para incluir niveles de riesgo e incertidumbre y considerar diferentes escenarios, se realizó un análisis cuantitativo de riesgos mediante simulación Montecarlo en el software @Risk (Paladise Corporation). En la simulación se asignan aleatoriamente valores de las variables identificadas como críticas, de acuerdo a sus funciones de distribución de probabilidad, para posteriormente calcular los indicadores de rentabilidad determinados (salidas del modelo). Este proceso se repite numerosas veces para obtener las distribuciones de probabilidad de dichas salidas (Figura 3) (Park, 2007).



**Figura 3.** Secuencia lógica de una simulación Monte Carlo para obtener la distribución de probabilidad de VPN para un proyecto de inversión. **Fuente:** Adaptado de Park, (2007)

Se realizaron 5.000 simulaciones o iteraciones, donde se combinaron aleatoriamente las variables de: ganancia de PV por animal día, costos de inversión, costos de mantenimiento, y precio por kg de PV a la venta. La simulación utilizó un nivel de confianza del 95%. Las distribuciones de probabilidad para las variables de entrada se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Distribuciones de probabilidad y valores de los parámetros de las variables de entrada y factores de riesgo.

Variable	Distribución	Tratamiento	Parámetros			Ajuste de distribución	Aleatoriedad
			p1	p2	p3		
Ganancia de peso (kg/animal/año)	Pert (a,b,c)	B. <i>brizantha</i> a 26124	120	165	182	Juicio del investigador de acuerdo a la disponibilidad de datos y comportamiento de la variable según literatura (Gutiérrez, et al., 2009).	Interacción entre variables de decisión (e.g. tipo de alimentación) y no controladas (e.g condiciones climáticas).
		Escenario base	98	123	135		
Precio carne PV venta (\$/kg)	Lognormal $l(\mu, \sigma)$	B. <i>brizantha</i> a 26124 y Escenario base	4.599	140		Basado en el mejor ajuste de datos históricos sin tendencia, utilizando el criterio de información Akaike (AIC; Akaike 1974).	Varia por factores asociados a la oferta y demanda del mercado

Costos de establecimiento (\$/ha)	Triángular (a,b,c)	<i>B. brizantha</i> a 26124	1.297.512	1.441.680	1.585.848	Esta distribución se recomienda para especificar situaciones que implican costos e inversiones.	Varían dependiendo del lugar específico donde se realice el establecimiento. Por ejemplo, la cantidad de labranza y nivel de fertilización adecuados está determinado por la estructura, textura, contenido de minerales del suelo, antecedentes del potrero y el régimen de lluvias de la región (Rincón & Caicedo, 2010)
		Escenario base	1.284.012	1.387.680	1.569.348		
Costos de mantenimiento (\$/ha)	Triángular (a,b,c)	<i>B. brizantha</i> a 26124 y Escenario base	448.020	497.800	547.580		

a,b,c: valor mínimo, más probable y máximo. Parámetros de la distribución triangular y pert.

Como criterios de decisión se utilizan los valores medios y las variaciones de los indicadores de rentabilidad resultado de la simulación, así como la probabilidad de éxito ( $VPN > 0$ ). El uso del criterio de valor medio se basa en la ley de los grandes números, la cual establece que si se realizan muchas repeticiones de un experimento, el resultado promedio tenderá hacia el valor esperado (Park, 2007). Adicionalmente, se realizó un análisis de sensibilidad mediante un diagrama de tornado, el cual perturba cada variable para medir el impacto de cada una sobre la varianza en el resultado del modelo, con el fin de identificar dentro de las variables definidas como críticas, aquellas con mayores efectos sobre los indicadores de rentabilidad.

### 3.5. Enfoque metodológico modelo de excedentes económicos

El sistema de ecuaciones bajo el cual trabaja el modelo de excedentes económicos se basa en el desarrollo matemático propuesto por Alston et al., (1995). Este modelo propone modelar y medir los efectos económicos de los cambios técnicos inducidos por la investigación en los entornos de mercado, mediante desplazamientos paralelos y lineales de la curvas de oferta y demanda<sup>2</sup>. En este caso, el producto en cuestión (carne bovina) es un bien perecedero que se encuentra vinculado poco a los mercados internaciones, por tanto se utilizan las ecuaciones para una economía cerrada (pp. 360, 380-5):

<sup>2</sup> Las curvas de oferta y demanda son lineales. Según Rivas et al., (1992) los excedentes pueden obtenerse de curvas no lineales. No obstante, los hallazgos de Alston et al., (1995:208) permiten demostrar que la forma funcional resulta poco importante para el análisis, pues es el factor de desplazamiento de la oferta el principal interés.

Cambio anual en el excedente total (Ver Anexo 2 para el desarrollo matemático de las ecuaciones):

$$\Delta ET = K_t P_0 Q_0 \left(1 + \frac{1}{2} Z_t n\right)$$

Donde  $P_0$  y  $Q_0$  son los precios y cantidades de equilibrio respectivamente;  $Z_t$  es la disminución proporcional del precio en el año  $t$ , definida como:

$$Z_t = \frac{K_t \varepsilon}{\varepsilon + n}$$

Y  $K_t$  el factor de desplazamiento de la oferta asociado al cambio tecnológico, y su valor es variable en el tiempo, según la dinámica del proceso de adopción;  $n$  es el valor absoluto de la elasticidad de demanda y  $\varepsilon$  la elasticidad de la oferta:

$$K_t = \left[ \frac{E(Y)}{\varepsilon} - \frac{E(C)}{1 + E(Y)} \right] p A_t \delta_t$$

Donde  $E(Y)$  es el aumento de rendimiento proporcional promedio por hectárea, con  $\varepsilon$  la elasticidad de oferta que se usa para convertir el efecto de producción bruta de los cambios de rendimiento inducidos por la I&D, en un efecto de costo de producción unitario bruto;  $E(C)$  es el cambio proporcional promedio en los costos variables por hectárea requeridos para lograr el aumento de rendimiento;  $p$  es la probabilidad de éxito en el proceso de adopción de la tecnología;  $\delta_t$  es el factor de depreciación de la tecnología;  $A_t$  es la tasa de adopción en el año  $t$ , y está determinada por una curva logística:

$$A_t = \frac{A_{MAX}}{1 + e^{-(\alpha + \beta t)}}$$

$A_{max}$  es la tasa máxima de adopción, y los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  controlan el desplazamiento y la pendiente, respectivamente; y están determinados por la duración de la investigación y la duración de la adopción.

El cambio anual en el excedente del consumidor se define como:

$$\Delta EC_t = Z_t P_0 Q_0 \left(1 + \frac{1}{2} Z_t n\right)$$

El cambio en el excedente del productor se define como:

$$\Delta EP_t = \Delta ET_t - \Delta EC_t$$

Los beneficios económicos asociado al cambio en los excedentes se expresan como flujos anuales de beneficios netos, y se estima el Valor Presente Neto (VPN). El VPN de la nueva tecnología resultado de I&D se calcula como:

$$VPN = \sum_t^T \frac{\Delta ET_t - k_t}{(1+r)^t}$$

La tasa interna de rendimiento agregada (TIR) se calculó como la tasa de descuento que iguala el valor actual neto agregado (VPN) a cero de la siguiente manera:

$$\sum_t^T \frac{\Delta ET_t - k_t}{(1+TIR)^t} = 0$$

Adicionalmente, para la estimación del modelo de evaluación ex ante, se consideran los siguientes supuestos (Alston et al., 1995):

- No se presentan distorsiones de política como subsidios, cuotas de producción, entre otros.
- Los mercados son competitivos. La oferta es igual a la demanda del bien, dado que los precios se ajustan para alcanzar las cantidades de equilibrio.
- El cambio en el excedente total es una medida del cambio en el bienestar social.
- El desplazamiento de la curva de oferta solo se produce por el cambio tecnológico.

#### *Información para correr el modelo*

Para la estimación de los beneficios sociales de las variedades forrajeras por medio del modelo de excedentes es necesario considerar diferentes parámetros técnicos y económicos. Los primeros permiten identificar la magnitud del desplazamiento de la función de oferta, y el comportamiento de la curva de adopción a través del tiempo, y se relacionan con: (1) cambios en los niveles de productividad, (2) año de lanzamiento y duración del periodo de difusión, (3) celeridad e intensidad del proceso de adopción, y (4) Niveles de I&D. Los parámetros económicos definen los mercados bajo análisis en términos de: (1) tipo de economía, (2) cantidades y precios iniciales de equilibrio, y (3) elasticidades precio de oferta y demanda.

Con el fin de examinar la sensibilidad de los resultados, se han considerado tres escenarios de análisis: base (B), optimista (O) y pesimista (P). Los parámetros que varían entre los escenarios son la productividad, la tasa máxima de adopción esperada y la probabilidad de éxito (Tabla 4). Adicionalmente se realizan mapas de calor para analizar el efecto de la variación de las dos primeras variables sobre el indicador TIR.

**Tabla 4.** Escenarios para análisis de sensibilidad modelo de excedentes de *B. brizantha* 26124.

Escenario	Regional			Nacional		
	P	B	O	P	B	O
Cambios en productividad (%)	15	21	33	15	21	33
Probabilidad de éxito (%)	70	80	100	70	80	100
Tasa de adopción final esperada (%)	1.11	2.22	3.33	1.4	2.8	4.2

**Fuente:** Elaboración propia según opinión de expertos de forrajes y estudios ex post.

En la Tabla 5 se presenta un resumen de los parámetros relacionados con el mercado y la tecnología utilizados para la estimación del modelo en el escenario base, así como las fuentes de datos respectivas. Los cálculos del impacto a nivel nacional se realiza suponiendo los mismos valores de incrementos en productividad, y un área potencial determinada por la tasa actual de adopción en pasturas del género *Brachiaria brizantha* a nivel nacional, dado el amplio rango de adaptación de esta variedad. Más adelante se amplía la información correspondiente al comportamiento de la adopción tecnológica, y la estimación de los costos de investigación y desarrollo.

**Tabla 5.** Descripción de los parámetros clave y las fuentes de datos para el análisis del excedente económico en el escenario base.

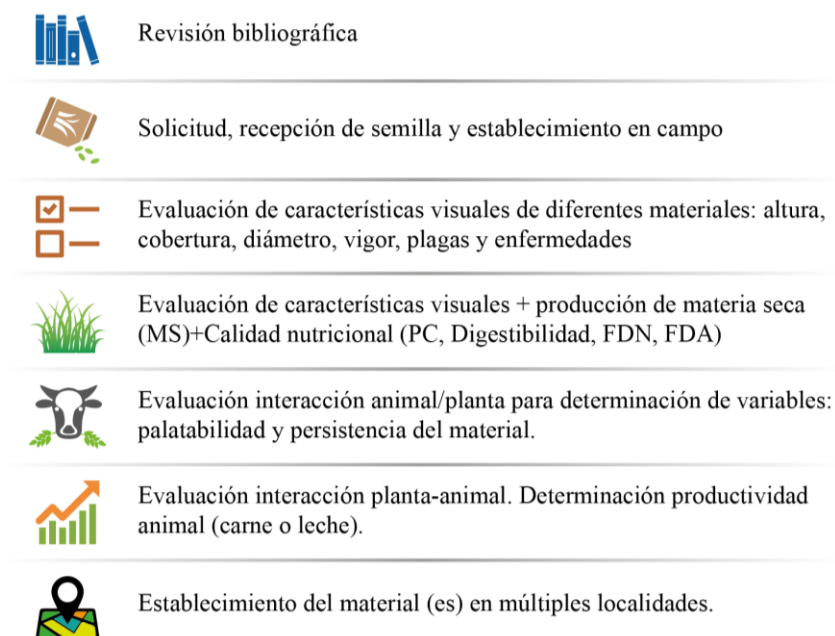
Parámetro	Valor	Descripción	Fuente
<b>Supuestos económicos</b>			
Tipo de economía	Cerrada	El nivel de exportaciones de carne bovina representa tan solo el 1.9% del total de la producción nacional.	Estimación propia con base en datos de (FAOSTAT, 2018)
Elasticidad de la oferta	0.7	Las cantidades ofertadas varían menos que proporcionalmente ante cambios en el precio	(Rivas & Holmann, 2004c)
Elasticidad de la demanda	-1.17	Las cantidades demandadas varían más que proporcionalmente ante cambios en el precio	(Ramirez, 2012)
Producción inicial Regional (Ton)	190,172		Estimación propia de acuerdo a participación de los Llanos orientales en la producción total nacional (FEDEGAN, 2018b) según la importancia en el inventario bovino.
Producción inicial Nacional (Ton)	905,582		(FEDEGAN, 2018b)
Precio inicial (\$/ton/canal)	\$ 8,774,945		Cálculos propios con base en datos de (FEDEGAN, 2018a)
Costos de investigación, desarrollo I&D (\$)	\$1,167,193,086		Estimación de expertos según los presupuestos de investigación y desarrollo (I&D) de una variedad por selección.
<b>Supuestos tecnológicos</b>			
Periodo de investigación y desarrollo (años)	5 (2011-2015)	Evaluaciones para selección de materiales promisorios convenio AGROSAVIA-CIAT.	
Periodo de difusión (años)	27	El período de difusión puede variar entre 25 y 30 años, según el Agro ecosistema y el sistema de producción.	(Rivas, 2002)
Año de liberación	2019	El año inicial de la introducción de la pastura <i>B. brizantha</i> 26124 c.v. Orinoquia se ha sido fijado en el	

		2019, pues de momento AGROSAVIA se encuentra en trámites ante el ICA para el registro del material.	
Efectos en la productividad (%)	+21	Mayor respuesta animal asociada a las mejores características en términos de calidad nutricional y producción de biomasa de la nueva variedad respecto a tecnologías tradicionales de la región.	Estimaciones según evaluaciones agronómicas y de respuesta animal en campo.
Cambios en los costos (%)	0	No se presentan cambios en los costos de producción asociados al nuevo material.	Información suministrada por expertos en ganadería y forrajes.
Probabilidad de éxito de la investigación (%)	80	Como escenario base se espera que los supuestos usados en el modelo se cumplan en un 80%.	Juicio del investigador según opinión de expertos.
Tasa de descuento (%)	12	Tasa social recomendada por el Departamento Nacional de Planeación para proyectos de inversión pública en Colombia.	(DNP, 2013)
Perfil de adopción	Curva de adopción logístico	Comportamiento proceso de adopción-difusión de tecnologías agropecuarias.	(Alston et al., 1995)
Tasa de adopción inicial (5)	0.001	Se asume una distribución logística	(Alston et al., 1995)
Tasa máxima de adopción esperada(%)-Regional	2.22	Porcentaje de área adoptada en pasturas del género <i>B. brizantha</i> en la región de los Llanos Orientales de Colombia.	(Labarta et al., 2017)
Tasa máxima de adopción esperada(%)-Nacional	2.8	Porcentaje de área adoptada en pasturas del género <i>B. brizantha</i> en toda Colombia.	(Labarta et al., 2017)

### *Costo de investigación y desarrollo (I&D)*

Los costos de I&D se estimaron a partir de los presupuestos anuales aprobados bajo el Macroproyecto: “Evaluación y desarrollo de materiales forrajeros para integrarlos a los sistemas de producción ganaderos de la Orinoquia”, financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), y ejecutado por la Corporación colombiana de investigación agropecuaria-AGROSAVIA y el programa de forrajes tropicales del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). En este proyecto se evaluaron 58 accesiones en los Llanos orientales para la identificación de 5 variedades promisorias adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de esta región. El periodo de I&D fue de cinco años, desde el 2011 al 2015. En este periodo se realizó el proceso de mejoramiento por selección, en el cual se realizan evaluaciones de las características visuales de los materiales, producción de forraje, producción de semilla, calidad nutricional, y

respuesta animal (Figura 4). De acuerdo con dichas evaluaciones se seleccionaron los materiales con las mejores características para liberación. El costo total estimado fue de \$1,167,193,086 donde se incluyen los costos de multiplicación de semilla realizada en las instalaciones del CIAT del 2014 al 2016.



**Figura 4.** Proceso para selección de materiales forrajeros promisorios

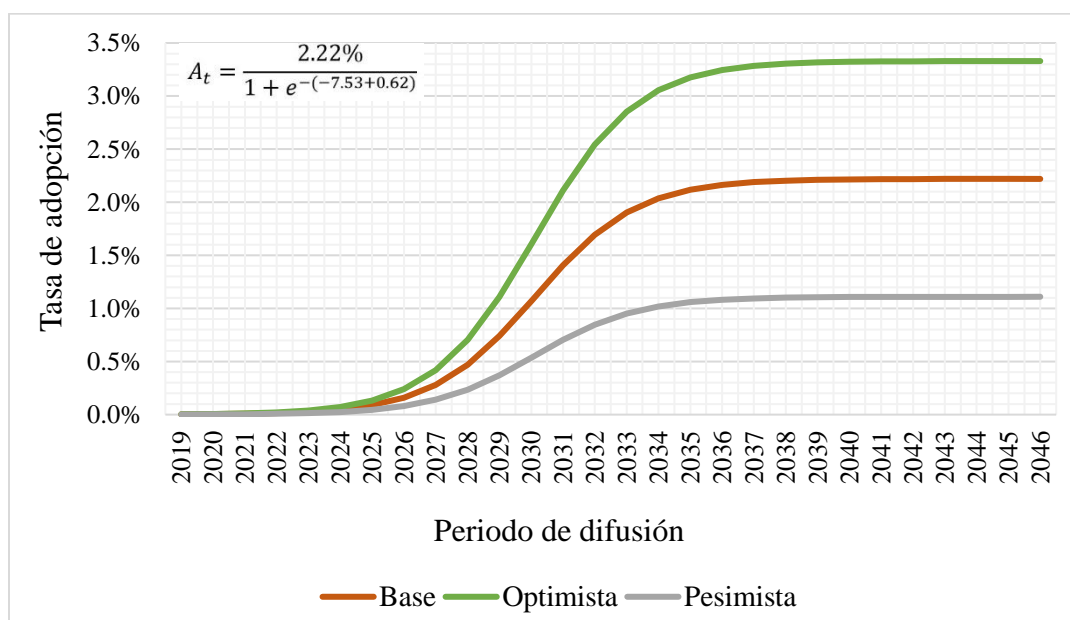
### *Adopción y difusión de la tecnología*

La evidencia empírica sobre el proceso de adopción–difusión de nuevas tecnologías agropecuarias se ha demostrado que sigue un patrón logístico o sigmoide (Mahajan & Peterson, 1985; Mansfield, 1961). En el tema de pasturas, aunque la literatura es limitada, existen los trabajos de Jarvis (1981), Ramírez (1990) y Cadavid (1995), quienes estudiaron los procesos de adopción de nuevas pasturas y encontraron resultados que confirman que la adopción se ajusta a un modelo logístico. Esto quiere decir que la curva de adopción se caracteriza por tres etapas: adopción temprana, crecimiento exponencial y la fase de transición. En la primera etapa, la tecnología tiene bajos porcentajes de adopción pues únicamente los productores con menos aversión al riesgo, es decir, aquellos más innovadores, son quienes deciden sembrar la nueva variedad. Luego de ello, los beneficios de la nueva tecnología comienzan a conocerse y se inicia una etapa de rápido crecimiento, caracterizada a su vez por dos sub-etapas: una mayoría temprana y una mayoría tardía. En la última etapa, la adopción sigue creciendo pero cada vez a tasas menores, ya que el proceso se acerca a su límite superior.

Para la estimación de la curva de adopción, el presente estudio hace uso de datos ex post sobre la adopción de variedades similares al cultivar a ser liberado. Los datos fueron obtenidos de un

estudio de adopción realizado por Labarta et al., (2017), los cuales aplicaron un total de 1.041 encuestas a productores con representatividad a nivel nacional, con el fin de indagar el porcentaje de área adoptada de las diferentes variedades de pasturas. Los resultados señalan en la muestra objeto de estudio, un 2,22% del área bajo el cultivar *B. brizantha* cv. La Libertad a nivel regional y un 2,8% a nivel nacional. Considerando que esta pastura fue introducida al país hace 50 años, es plausible suponer que se encuentra en una etapa de maduración. Por lo tanto, esta tasa se considera como el nivel máximo de adopción para el escenario base.

En los escenarios pesimista y optimista se suponen un 50% por debajo y por encima de la tasa máxima de adopción esperada en el escenario base, esto es una tasa mínima del 1,11% y una máxima del 3,3% a nivel regional, y una tasa mínima de 1,4% y máxima de 4,2% a nivel nacional (Figura 5). En ambos casos se pretende examinar los cambios en los beneficios netos sociales cuando se asume un proceso de difusión exitoso o cuando se considera un proceso con serias dificultades. No obstante, se podría esperar en un escenario optimista tasas mucho mayores, dados los registros del nivel de adopción para otras especies de *Brachiaria* como la *B. dictyoneura* cv. Llanero y la *B. decumbens*, las cuales registran un nivel de adopción del 10,7% y del 12,87% respectivamente (Labarta et al., 2017). Sin embargo, en el presente estudio se prefiere manejar hipótesis conservadoras para evitar, en lo posible, la sobreestimación de los beneficios de la nueva variedad. Una vez se alcanza la tasa máxima de adopción esperada o de maduración, esta se supone fija en el periodo de difusión, siendo en el año 20 el momento donde se alcanza dicha tasa.



**Figura 5.** Curvas de adopción a nivel regional para los escenarios base, optimista y pesimista del modelo de excedentes económicos.

#### 4. Resultados

En esta sección se presentan los resultados de la evaluación de impacto de la *B. brizantha* 26124 a nivel de unidad productiva y a nivel social por medio de diferentes indicadores de viabilidad.

#### 4.1 Análisis Costo Beneficio

En la Tabla 6 se presentan los principales resultados asociados a los costos e ingresos por hectárea para la pastura *B. brizantha* 26124 cv. Orinoquia en la región de los llanos Orientales, así como del escenario base. Los costos de inversión para ambos tratamientos incluyen el establecimiento de la pastura, la instalación de cercas y la compra de animales. Dentro de los costos directamente relacionados al establecimiento de la pastura, el monto total fue en promedio de \$1.434.180 para ambos tratamientos, siendo un 1% mayor en la nueva variedad asociado a la mayor densidad de siembra. Respecto a la participación de los rubros en el costo de establecimiento, el mayor peso lo tienen la compra de insumos (73.8%), seguido del uso de maquinaria (21.5%), y por último mano de obra (4.7%). Dentro de los insumos, los fertilizantes y correctivos tienen la mayor participación con el 68%, dada la necesidad de aplicar grandes cantidades de estos para acondicionar las propiedades químicas del suelo, a causa de la baja fertilidad, alta saturación de aluminio y acidez característicos de la región. Para mantener los niveles de productividad de las pasturas, se supone un mantenimiento adecuado en términos de fertilización, control de arvenses y rotación para ambos tratamientos. El mantenimiento se realiza cada dos años con un costo por hectárea de \$497.800. Las estructuras de costos para los dos tratamientos evaluados se presentan en los Anexos 2, 3 y 4.

Por otra parte, los ingresos estuvieron dados por la venta de animales para carne con un peso promedio de 450 kg. Como resultado de los mejores indicadores de respuesta animal de la *B. brizantha* 26124, el ingreso bruto promedio año se incrementó en un 42%, la utilidad neta en un 197% y el costo de producción por kg de carne se redujo en un 19%, respecto al escenario base.

**Tabla 6.** Costos e ingresos de la *B. brizantha* 26124 y Escenario base en la región de los Llanos Orientales.

<b>Parámetro</b>	<b><i>B. brizantha</i> 26124</b>	<b>Escenario base</b>
<b><i>Costos de inversión año 1</i></b>		
Establecimiento pasturas (\$/ha)	1.441.680	1.426.680
Cerca eléctrica (\$/ha) <sup>1</sup>	2.104.650	2.104.650
Compra de animales (\$/ha)	1.520.000	1.520.000
<b><i>Costos de operación</i></b>		
Costos mantenimiento pasturas (\$/ha)	497.800	497.800
Mano de obra permanente ( promedio /ha/año) <sup>2</sup>	563.548	536.713
Salud animal ( promedio /ha/año)	34.932	33.269
Suplementación ( promedio/ha/año) <sup>3</sup>	71.894	68.471
<b>Ingreso bruto (promedio/ha/año)</b>	<b>3.334.058</b>	<b>2.351.976</b>
<b>Costo unitario de producción (\$/kg)<sup>4</sup></b>	<b>3.440</b>	<b>4.090</b>
<b>Utilidad neta (promedio /ha/año)<sup>5</sup></b>	<b>866.759</b>	<b>291.069</b>

<sup>1</sup> Cerca eléctrica para un sistema de pastoreo rotacional; <sup>2</sup> Estimados: 2.5 empleos permanentes requeridos por cada 100 animales en un sistema de levante y ceba de ganado, y un salario mínimo legal vigente a 2018 de COP \$781.242; <sup>3</sup>Suplementación con sal mineralizada a una tasa de 100 gr / animal / día para ambos tratamientos; <sup>4</sup>se obtiene al dividir el costo total del producto entre la producción total; <sup>5</sup> Ingreso total (precio de venta x rendimiento) menos los costos totales de producción.

### Indicadores de Rentabilidad

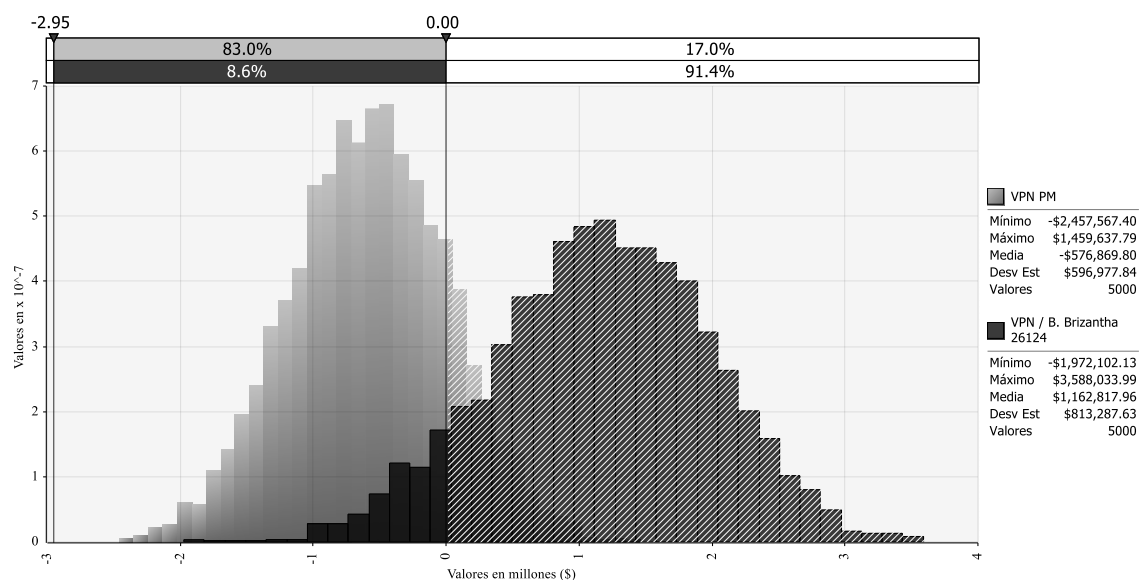
El resumen de los principales resultados financieros de la simulación para las dos tecnologías evaluadas se presenta en la Tabla 7. Bajo los supuestos usados en este modelo, el uso de *B. brizantha* 26124 demuestra ser financieramente rentable y permite mejorar todos los indicadores de riesgo y desempeño respecto al escenario base. Para la nueva variedad, el modelo arroja un VPN medio de COP 675.570, con una tasa interna de retorno a los recursos propios del 19%. Cabe resaltar que los mayores indicadores productivos para *B. brizantha* 26124 permiten reducir los requerimientos de tierra para sostener una familia, pasando de 16,79 a 14,06 hectáreas, así como disminuir el periodo de recuperación de la inversión de seis a cinco años.

**Tabla 7.** Indicadores de rentabilidad modelo de simulación.

Criterio de decisión	Indicador	<i>B. brizantha</i> 26124	Escenario base
VPN	Estático <sup>1</sup>	939.278	2.367
	Medio <sup>2</sup>	675.570	(64.868)
	Desviación <sup>3</sup>	549.091	395.092
	IC (95%) <sup>4</sup>	(848.432)-2.106.106	(1.136.901)-1.009.308
TIR	Medio	19%	15%
	IC (95%)	10%-28%	5%-24%
Relación Beneficio/Costo <sup>5</sup>	Medio	1,05	0,95
	IC (95%)	0,94-1,14	0,87-1,03
PRI (Años) <sup>6</sup>	Medio	5	6
	IC (95%)	4-6	4-6
Área Mínima (Hectáreas) <sup>7</sup>	Medio	14,06	16,79

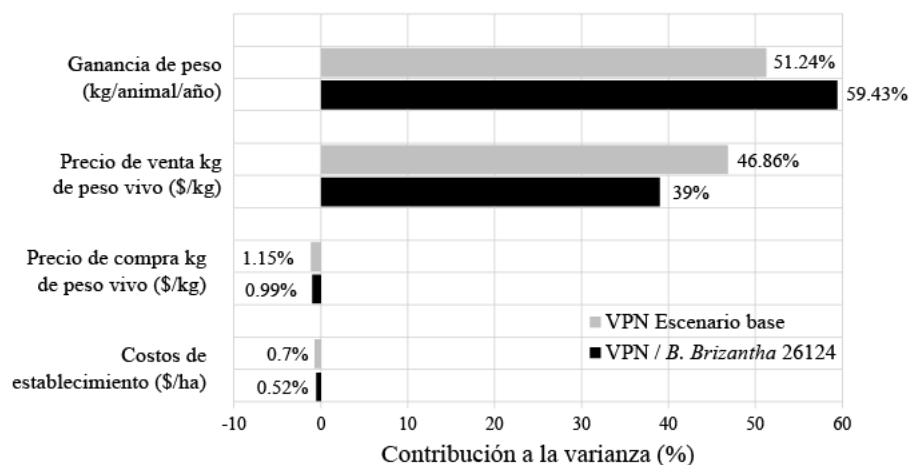
<sup>1</sup> Valor obtenido antes de realizar la simulación; <sup>2</sup> Valor medio del VPN obtenido en la simulación (5,000 iteraciones); <sup>3</sup> Desviación estándar del VPN respecto al valor medio; <sup>4</sup> Valor mínimo y valor máximo en un intervalo de confianza (IC) del 95%; <sup>5</sup> Cociente entre los beneficios y costos descontados; <sup>6</sup> Número de años necesarios para recuperar la inversión inicial; <sup>7</sup> Hectáreas mínimas para obtener un ingreso de dos salarios mínimos.

Con respecto a la probabilidad de no obtener factibilidad financiera de las pasturas evaluadas, la Figura 6 muestra las distribuciones para el indicador de VPN, las cuales reflejan la amplitud de la variación para el indicador de VPN. Para las pasturas evaluadas en el escenario base, el indicador puede tomar valores negativos cercanos a \$2.457.567 y valores positivos cercanos a \$1.459.638, con una probabilidad de obtener valores negativos de 83%. Para la nueva variedad, la mejora en la productividad permite un desplazamiento hacia la derecha de la curva de distribución, reduciendo la probabilidad de pérdidas al 8.6%, con un rango que varía entre -\$1.972.102 y \$3.588.033.



**Figura 6.** Distribución de probabilidad y densidad acumulada para el indicador VPN para los tratamientos evaluados.

La contribución de las variables de entrada a la varianza del VPN se muestra en los gráficos de tornados de la Figura 7. Los coeficientes de correlación calculados entre los valores de entrada y la varianza del VPN muestran que la rentabilidad se vio afectada principalmente por dos variables: la productividad animal y el precio de venta por kg de peso vivo. Los aumentos de dichas variables tienen un efecto positivo en la variabilidad del pronóstico del indicador de la siguiente manera: cambios en la variable de productividad animal modifican la varianza del indicador en 51,24% y 59,43% para nueva variedad y el escenario base, respectivamente. Del mismo modo, los cambios en el precio de venta por kg de peso vivo conducen a cambios en la varianza de 46,86% y 39%.



**Figura 7.** Gráfico de tornado múltiple que muestra la contribución de las variables aleatorias sobre la varianza del NPV

Las dos variables identificadas en el anterior análisis se estudian de forma individual mediante un análisis de mapa de calor, donde se realizan cambios simultáneos en ambas variables y se

identifican los cambios en el indicador VPN. Los valores más bajos son más rojos, los valores más altos son más verdes; y el percentil 50 de los valores de VPN son de color amarillo. Bajo el precio de referencia (\$4.600 /kg), niveles de productividad animal por debajo de 0,280 Ton /ha/año (equivalentes a una ganancia de 140 kg/animal/año) resulta no rentable. Del mismo modo, bajo la productividad base de 165 kg/animal/año, un precio por debajo de COP \$ 4.211 resulta no rentable.

		Precio de venta kg en pie (\$/kg)								
		4,000	4,100	4,200	4,300	4,400	4,500	4,600	4,700	4,800
Productividad animal (kg/animal/año)	110	(3,493,694)	(3,193,315)	(2,892,937)	(2,592,558)	(2,292,179)	(1,991,801)	(1,691,422)	(1,391,043)	(1,090,665)
	120	(2,999,921)	(2,687,198)	(2,374,475)	(2,061,752)	(1,749,029)	(1,436,306)	(1,123,583)	(810,860)	(498,137)
	130	(2,506,148)	(2,181,080)	(1,856,013)	(1,530,946)	(1,205,878)	(880,811)	(555,744)	(230,676)	94,391
	140	(2,012,375)	(1,674,963)	(1,337,551)	(1,000,140)	(662,728)	(325,316)	12,095	349,507	686,919
	150	(1,518,601)	(1,168,845)	(819,089)	(469,333)	(119,577)	230,179	579,935	929,691	1,279,447
	160	(1,024,828)	(662,728)	(300,628)	61,473	423,573	785,673	1,147,774	1,509,874	1,871,974
	170	(531,055)	(156,610)	217,834	592,279	966,724	1,341,168	1,715,613	2,090,058	2,464,502
	180	(37,282)	349,507	736,296	1,123,085	1,509,874	1,896,663	2,283,452	2,670,241	3,057,030
	190	456,491	855,625	1,254,758	1,653,891	2,053,025	2,452,158	2,851,291	3,250,425	3,649,558

**Figura 8.** Mapa de calor de sensibilidad del VPN (Escenario base) con respecto a cambios en el precio de venta y el nivel de productividad

#### 4.2. Modelo de excedentes económicos

Los resultados del modelo de excedentes económicos son presentados en la Tabla 8. Para el caso regional y nacional, los beneficios potenciales de la variedad *B. brizantha* 26124 son positivos en los tres escenarios de análisis. A nivel regional en el escenario base, se estima un beneficio total por valor de COP 6,270 millones, lo cual representa una tasa interna social de retorno de las inversiones del 24%. En el caso nacional, los resultados son análogos a los regionales, excepto porque su magnitud es mayor como resultado del incremento en la tasa de adopción esperada y volumen de producción afectada. La distribución de los beneficios se concentran sobre los productores, quienes reciben el 62.5% de ellos; dado que la curva de la demanda es elástica ( $E_D = 1.17$ ) el nuevo punto de equilibrio se alcanza a partir de pequeñas variaciones en los precios

En el escenario optimista, se plantea que la nueva variedad puede alcanzar incrementos en productividad del 33%, y puede llegar a cubrir un 3,33% en la región de los Llanos Orientales y un 4,2% del país. En esta situación se esperaría generar beneficios por COP 19.491 y 119.700 millones respectivamente. Para la sociedad sería muy rentable haber invertido en esta variedad, pues la TIR sería superior al 30% y la relación beneficio/costo estaría apuntando a que se generan alrededor de 367 mil pesos por cada mil pesos de inversión. En el caso contrario, el pesimista, se consideraron cambios en los rendimientos del 15%, una tasa de adopción regional del 1,11% y una probabilidad de éxito del 70%, los cuales arrojarían unos beneficios totales de COP 1.386 millones en la región Orinoquia. Igualmente, la rentabilidad estimada fue del 17%, siendo superior a la tasa

social de descuento (12%). La relación beneficio/costo calculada, estaría indicando que por cada mil pesos invertidos, la sociedad estaría recuperando seis mil.

**Tabla 8.** Resultados modelo de excedentes económicos (Cifras en millones de pesos).

Nivel	Escenario	Cambio EC	Cambio EP	Cambio ET	VPN	TIR	B/C
Regional	Base	6.564	10.971	17.536	6.270	24%	21.6
	Optimista	18.817	31.452	50.269	19.491	31%	61.9
	Pesimista	2.037	3.406	5.443	1.386	17%	6
Nacional	Base	41.424	69.237	110.661	43.882	37%	136
	Optimista	111.694	186.689	298.383	119.700	45%	367
	Pesimista	8.981	15.011	23.993	8.878	26%	29

EC: Excedente del Consumidor, EP: Excedente del productor, ET: Excedente total

Para verificar la solidez de las estimaciones de impacto y rendimiento de la inversión, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad respecto al escenario de referencia. En particular, se examinaron las variables de tasa máxima de adopción esperada y nivel de productividad. En la Figura 9 se presentan los mapas de calor correspondiente a los cambios de las anteriores variables y sus efectos sobre el indicador TIR. Los resultados sugieren que a nivel regional, la tecnología es rentable ante incrementos de productividad superiores al 5% y del 1% en el nivel de adopción a nivel regional. Si bien los resultados del análisis son claramente sensibles a estas dos variables, la inversión en esta alternativa es altamente rentable bajo la mayoría de los valores asignados.

#### a). Regional

		Tasa de adopción									
		1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
Cambios en productividad	5%	11.7%	15.3%	17.6%	19.2%	20.5%	21.6%	22.6%	23.4%	24.1%	24.8%
	10%	15.3%	19.2%	21.6%	23.4%	24.8%	26.0%	27.0%	27.9%	28.7%	29.4%
	15%	17.6%	21.6%	24.1%	26.0%	27.4%	28.7%	29.7%	30.7%	31.5%	32.2%
	20%	19.2%	23.4%	26.0%	27.9%	29.4%	30.7%	31.8%	32.7%	33.6%	34.4%
	25%	20.5%	24.8%	27.4%	29.4%	30.9%	32.2%	33.4%	34.4%	35.2%	36.0%
	30%	21.6%	26.0%	28.7%	30.7%	32.2%	33.6%	34.7%	35.7%	36.6%	37.4%
	35%	22.6%	27.0%	29.7%	31.8%	33.4%	34.7%	35.9%	36.9%	37.8%	38.6%

#### b). Nacional

		Tasa de adopción									
		1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
Cambios en productividad	5%	20.3%	24.5%	27.1%	29.1%	30.6%	31.9%	33.0%	34.0%	34.9%	35.7%
	10%	24.5%	29.1%	31.9%	34.0%	35.7%	37.0%	38.2%	39.3%	40.3%	41.1%
	15%	27.1%	31.9%	34.9%	37.0%	38.8%	40.3%	41.5%	42.6%	43.6%	44.5%
	20%	29.1%	34.0%	37.0%	39.3%	41.1%	42.6%	43.9%	45.1%	46.1%	47.0%
	25%	30.6%	35.7%	38.8%	41.1%	43.0%	44.5%	45.9%	47.0%	48.1%	49.1%
	30%	31.9%	37.0%	40.3%	42.6%	44.5%	46.1%	47.5%	48.7%	49.8%	50.7%
	35%	33.0%	38.2%	41.5%	43.9%	45.9%	47.5%	48.9%	50.1%	51.2%	52.2%

**Figura 9.** Mapas de calor de sensibilidad de la TIR (Escenario base) con respecto a cambios en la tasa de adopción y nivel de productividad

## 5. Conclusiones y recomendaciones

A nivel de productor primario, el establecimiento de la nueva variedad *B. brizantha* 26124 cv. Orinoquia en los sistemas de pastoreo para la producción de carne, permitirá mejorar los indicadores técnicos y económicos bajo diferentes escenarios de rendimientos y condiciones de mercado. En términos productivos, la nueva variedad incrementará la productividad animal en un rango del 15% al 31% respecto al escenario base, como resultado de las mejores características en términos de calidad nutricional y producción de biomasa. Estas mejoras en productividad permitieron, además, reducir el tiempo necesario para alcanzar el peso de venta del animal y por tanto, se obtuvieron flujos más continuos en los ingresos. Todo lo anterior se tradujo en mejores indicadores financieros respecto al escenario base, esto significa incrementos del VPN en once veces y la TIR en un 27%. Los resultados indican que la inversión en el establecimiento de la nueva variedad es rentable, con un VPN medio que varió alrededor de COP\$ 675.570 y una TIR alrededor del 19%, siendo así, una alternativa viable para mejorar la eficiencia en la producción y rentabilidad de las fincas ganaderas en la región.

Los mejores indicadores de desempeño de la *B. brizantha* 26124 también estuvieron asociados a una reducción en la probabilidad de tener pérdidas económicas (83% frente a 8.6%). Adicionalmente, el análisis de sensibilidad muestra que los cambios en el precio de venta de la carne tienen un mayor impacto en los indicadores de desempeño para el caso del escenario base, lo que sugiere que este último presenta un mayor riesgo frente a condiciones de mercado que causen reducciones en el precio. Como es sabido, los procesos de adopción de tecnologías de pasturas son decisiones a largo plazo, durante el cual pueden ocurrir cambios sustanciales en las condiciones económicas o ambientales (p.ej. efectos del cambio climático). Considerando que los productores son particularmente adversos al riesgo (Feder 1980; Marra et al. 2003), las tecnologías con un menor riesgo y varianza ofrecen un incentivo adicional para su adopción.

Por otro lado, aunque la *B. brizantha* 26124 demuestra mejorar la productividad y reducir los indicadores de riesgo, los sistemas de pastoreo basados en pasturas en monocultivo se encuentran expuestas a cambios importantes en la producción de forraje y calidad durante el año, a causa de las variaciones en las condiciones climáticas y de fertilidad del suelo (Tedonkeng et al., 2007). Por lo tanto, alternativas de asociaciones de estas nuevas pasturas con árboles o leguminosas permitirían incrementar la persistencia del material a causa de la fijación de nitrógeno del medio ambiente al suelo, el aporte de materia orgánica a las pasturas, el aumento de la retención de agua en el suelo, y la mejoría en la regulación de la temperatura (Harrison et al. 2015; Dubeux et al. 2017; Reckling et al. 2016, Navas, 2010), reduciendo de esta manera las fluctuaciones en los rendimientos reales esperados en un sistema de pasturas en monocultivo.

La mejora en la alimentación del animal por medio de pasturas de mayor calidad nutricional también se encuentra condicionada a las características propias de la genética del animal. En el presente estudio, los animales usados para evaluar la ganancia de peso fueron ganado mestizo de baja genética, el cual es el más usado en las fincas ganaderas del país. No obstante, en unidades

productivas donde haya una mejora en el componente genético, los aumentos en productividad por el uso de la nueva tecnología podrían ser mayores a los acá reportados. Dicha mejora en productividad se debe al mayor aprovechamiento de la calidad alimenticia de la pastura, logrando de esta manera una mayor eficiencia en la conversión de forraje a proteína animal (carne/leche) (Navas, 2010).

De acuerdo a los resultados obtenidos en el modelo de excedentes económicos, la inversión en el desarrollo de nuevas opciones de pasturas más productivas es altamente rentable desde el punto de vista social, dadas las ganancias significativas de desempeño y la importancia de la ganadería en el desarrollo económico y social en la región de la Orinoquia y en general en toda Colombia. En este estudio se encontró que de ser adoptada, el aumento en la productividad de la *B. brizantha* 26124 cv. Orinoquia podría generar un desplazamiento de la oferta de carne, que estaría asociado con importantes beneficios económicos. El valor presente neto de los beneficios sociales para el periodo 2019-2046 es de COP 6,270 y 43,882 millones a nivel regional y nacional respectivamente. Tales beneficios se concentran principalmente en los productores, quienes recibirían más del 64% de los beneficios totales. De ser adoptada a nivel nacional, la tasa interna de retorno social de los recursos destinados en I&D de la tecnología evaluada se sitúa en 37%, lo cual resulta muy superior al costo de oportunidad de los recursos públicos de 12% (DNP, 2013).

Los resultados del modelo de excedentes económicos dependen principalmente de las variables: **tasa de adopción máxima esperada y nivel de productividad**. Por un lado, de acuerdo a las cifras descritas, las tasas de adopción de pasturas mejoradas para accesiones de *Brachiaria brizantha* son bajas (2.2% y 2.8% a nivel regional y nacional respectivamente), y este es un factor clave para el éxito potencial de la tecnología. Esta tasa de adopción dependerá esencialmente de qué tan rápido y eficiente se hace el proceso de difusión, por lo tanto, es clave el diseño y la implementación efectiva de mecanismos de difusión por parte de las instituciones pertinentes. Para ello se debe garantizar la disponibilidad y acceso a las semillas a través de un adecuado sistema de producción y distribución de las mismas. En esta parte del proceso toman preponderancia los roles y la coordinación de las instituciones encargadas de dichos procesos, que incluyen actores del sector público, privado y mixtas.

Por otro lado, el retorno social de la nueva variedad también depende del nivel de productividad de la tecnología. En este caso, la *B. brizantha* 26124 c.v. Orinoquia permite incrementar sustancialmente la producción por unidad de área sin cambio en el uso de recursos respecto al escenario base de la región. Sin embargo, estos aumentos en productividad solo se obtienen bajo condiciones adecuadas de manejo del material, por lo tanto, es imprescindible brindar acompañamiento al productor primario durante la liberación del material por medio de programas de extensión y/o transferencia específicos sobre el proceso de establecimiento y mantenimiento de la pastura.

Como se mencionó a nivel metodológico, esta evaluación se basa en un modelo de equilibrio parcial, por tanto no incluye los impactos en otros sectores de la economía y sobre los recursos naturales. No obstante, el presente estudio demuestra la importancia de las nuevas tecnologías de pasturas, su elevado potencial de producir beneficios sociales y la necesidad de desarrollar mecanismos que permitan aprovechar dicho potencial. Por otro lado, el desarrollo de nuevas tecnologías forrajeras con mejores características productivas permiten reducir el impacto ambiental con importantes impactos a nivel social (p. ej. reducción de emisiones de metano por animal resultado de la mejora en la alimentación (Beauchemin et al., 2008). Por tanto, en próximos estudios se recomienda incluir y evaluar el impacto sobre indicadores ambientales.

Del presente documento y según revisión de estudios anteriores de evaluación ex ante en el sector agropecuario, estos se efectuaron después de realizar la inversión en investigación y justo antes de la liberación de la tecnología particular. Por tanto, como recomendación, es clave desarrollar este tipo de estudios antes de tomar decisiones de investigación o de iniciar programas de mejoramiento, de tal manera que los resultados sirvan realmente como herramienta para tomar mejores decisiones en la asignación de los recursos escasos. No obstante, los resultados del presente estudio a nivel regional representan un insumo clave para justificar el desarrollo de nuevas variedades forrajeras por selección (costo de inversión en I&D estimado de COP 1.000 millones) en otras regiones del país de importancia ganadera.

## **7. Agradecimientos**

Este trabajo se realizó como parte del Programa de Investigación sobre Ganadería (Livestock) del CGIAR y cuenta con el apoyo de los contribuyentes al Fondo Fiduciario del CGIAR. CGIAR es una alianza de investigación global para un futuro alimentario seguro. 15 centros de investigación llevan a cabo su ciencia en estrecha colaboración con cientos de socios en todo el mundo. [www.cgiar.org](http://www.cgiar.org). Este trabajo hizo parte de los proyectos de investigación: "*Evaluación y desarrollo de materiales forrajeros para integrarlos a los sistemas de producción ganaderos de la Orinoquia*" y "*Estrategias para mejorar la competitividad y sostenibilidad de los sistemas de producción de leche y/o carne en el Caribe Húmedo, Caribe Seco, Valles Interandinos, Orinoquia y trópico alto colombiano*". Agradecemos el apoyo financiero del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia y el Fondo Nacional del Ganado (FNG). Igualmente, el autor da sus más sinceros agradecimientos a Andrés Charry, investigador asociado del CIAT, por su constante asesoría y acompañamiento, demostrando un alto grado compromiso en su labor de tutor. Igualmente, se agradece al Dr. Stefan Burkart, líder del equipo socioeconómico del programa de forrajes tropicales, por sus valiosos comentarios. Por último, se reconoce la colaboración de Mauricio Sotelo, asistente de investigación del CIAT, quien brindó el conocimiento técnico requerido durante el proceso.

## Referencias bibliográficas

- Aghion, P; Howitt, P. (1992). A model of growth through creative destruction, *Econometrica*, 60 (2), Evanston, Illinois, The Economic Society
- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control* 19 (6):716-723. DOI: [10.1109/TAC.1974.1100705](https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705)
- Alston, J.M; Norton G.; Pardey, P. (1995). *Science Under Scarcity: Principles and Practice for Agricultural Research Evaluation and Priority Setting*. Cornell University Press.
- Beauchemin, K.A; Kreuzer, M; O'Mara, F; McAllister, T.A. (2008). Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48. 21-27.
- Cadavid, H.J. (1995). *Comportamiento y limitantes de la adopción de pastos y cultivos asociados en los Llanos Orientales de Colombia, 1994*. Tesis M. Sc. Universidad del Valle, Facultad de Ciencias Sociales y Económicas –Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Programa Trópico Bajo. Cali, Colombia
- Capstaff, N.M; Miller, A.J. (2018). Improving the Yield and Nutritional Quality of Forage Crops. *Frontiers in Plant Science* 9; 1–18. DOI: [10.3389/fpls.2018.00535](https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00535)
- Currie, J; Murphy, J; Schmitz, A. (1971). The Concept of Economic Surplus and its Use in Economic Analysis. *Economic Journal*, Royal Economic Society. 81 (324); 741-799.
- DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). (2016). *Censo Nacional Agropecuario 2014 [Base de datos]*.
- DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). (2017). *Cuentas nacionales: Cuentas nacionales departamentales [Base de datos]*. Recuperado de <http://bit.ly/2dTIIFf>
- DNP (Departamento Nacional de Planeación-Dirección de Inversiones y Finanzas Públicas). (2013). *Manual de Soporte Conceptual Metodología General para la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión Pública*.
- Dubeux, J.C.B; Blount, A.R.S; Mackowiak, C; Santos, E.R.S; Pereira, J.D; Riveros, U; Garcia, L; Jaramillo, D.M; Ruiz-Moreno, M. (2017). Biological N<sub>2</sub> fixation, belowground responses, and forage potential of rhizoma peanut cultivars. *Crop Science*; 57(2); 1027–1038. DOI:[10.2135/cropsci2016.09.0810](https://doi.org/10.2135/cropsci2016.09.0810)
- Estrada, R.D; Seré, C. (1984). Análisis económico de sistemas de ceba en pastos mejorados en los Llanos Orientales de Colombia. En: *Referencias y ayudas utilizadas en el programa de capacitación científica de investigación para la producción y utilización de pastos*

- tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 1063-1075.
- FAO. (2017). The future of food and agriculture: Trends and challenges. Rome.
- FAOSTAT. (2018). Crops and livestock products [Base de datos]. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP>
- FEDEGAN. (2018a). Precio promedio de ganado gordo en pie Colombia: Precio de referencia. <http://www.fedegan.org.co/estadisticas/precios> (acceso 30 Abril 2018)
- FEDEGAN. (2018b). Producción: Producción Colombia. <http://www.fedegan.org.co/estadisticas/produccion-0> (acceso 30 Abril 2018)
- Feder, G. (1980). Farm Size, Risk Aversion and the Adoption of New Technology under Uncertainty. *Oxford Economic Papers* 32(2); 263–283. DOI:[10.1093/oxfordjournals.oep.a041479](https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.oep.a041479)
- Gerber, P.J; Steinfeld, H; Henderson, B; Mottet, A; Opio, C; Dijkman, J; Falcucci, A; Tempio, G. (2013). Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería. Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), Roma.
- Grossman, G.M; Helpman, E. (1991). *Innovation and Growth in the Global Economy*, Cambridge Massachusetts, The MIT Press
- Gutiérrez, C.D; Wingching-Jones, R; Rodríguez, R.R. (2009). Factibilidad del establecimiento de un sistema de producción de engorde de búfalos en pastoreo. *Agronomía Costarricense* 33(2); 183–191.
- Harrison, M.T; Mcsweeney, C; Tomkins, N.W; Eckard, R.J. (2015). Improving greenhouse gas emissions intensities of subtropical and tropical beef farming systems using *Leucaena leucocephala*. *Agricultural Systems* 136; 138–146. DOI: [10.1016/j.agsy.2015.03.003](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.03.003)
- Holmann, F; Estrada, R. (1997). Alternativas Agropecuarias en la Región Pacifico Central de Costa Rica: Un modelo de Simulación Aplicable a Sistemas de Doble Propósito. En C. Lascano & F. Holmann (Eds.), *Conceptos y Metodologías de Investigación en Fincas con Sistemas de Producción Animal de Doble Propósito*. Cali, Colombia. 134-150.
- Jarvis, L.S. (1981). Predicting the diffusion of improved pastures in Uruguay. *Am. J. Agric. Econ.* 63:3.
- Jutzi, S.C; Rich, K.M. (2016). An evaluation of CGIAR Centers' impact assessment work on livestock-related research (1990-2014).

- Labarta, R; Martinez, J.M; Yaccelga, A; Reyes, B; Gomez, L; Maredia, M.; ... Toro, M. (2017). Assessing the adoption and economic & environmental impacts of *Brachiaria* grass forage cultivars in Latin America focusing in the experience of Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Mahajan, V; Peterson, R.A. (1985). Models for innovation diffusion. SAGE Publications, Inc. DOI: [10.4135/9781412985093](https://doi.org/10.4135/9781412985093)
- Mansfield, E. (1961). Technical Change and the Rate of Imitation. *Econometrica*, 29(4), 741–766 p. DOI: [10.2307/1911817](https://doi.org/10.2307/1911817)
- Marra, M; Pannell, D.J; Abadi, A. (2003). The economics of risk, uncertainty and learning in the adoption of new agricultural technologies: Where are we on the learning curve? *Agricultural Systems* 75; 215–234. DOI: [10.1016/S0308-521X\(02\)00066-5](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00066-5)
- Maredia, M.K; Shankar, B; Kelley, T.G; Stevenson, J.R. (2014). Impact assessment of agricultural research, institutional innovation, and technology adoption: Introduction to the special section. *Food Policy*, 44: 214–217. DOI: [10.1016/j.foodpol.2013.10.001](https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.10.001)
- Masters, W; Coulibaly, B; Sanogo, D; Sidibé, M; Williams, A. (1996). The economic impact of agricultural research: A practical guide. Department of Agricultural Economics, Purdue University, W. Lafayette, IN.
- Miles, J.W; do Valle, C.B; Rao, I.M; Euclides, V.P.B. (2004). Brachiariagrasses. En: Moser L; Burson B; Sollenberger LE, (Eds.) Warm-season (C4) grasses. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA. 745–783 p.
- Miles, J.W; Maass, B. L; do Valle, C. B. (1996). *Brachiaria*: biology, agronomy and improvement. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia.
- Navas, A. (2010). Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Revista de Medicina Veterinaria*, (19). 113-122 p.
- Nicholson, W. (2004). Teoría Microeconómica. Principios Básicos y Ampliaciones, 8ª edición, Editorial Thomson. Madrid
- Pachico, D; Lyann, J; Jones, P.G. (1987). The Distribution of Benefits from Technical Change among Classes of Consumers and Producers: An Ex-Ante Analysis of Beans in Brazil. *Research Policy*, 16 (5): 279-285.
- Park, C. S. (2007). Contemporary Engineering Economics (4th ed). Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J

- Peters, M; Herrero, M; Fisher, M; Erb, K-H; Rao, I; Subbarao, GV; Castro, A; Arango, J; Chará, J; Murgueitio, E; Van der Hoek, R; Läderach, P; Hyman, G; Tapasco, J; Strassburg, B; Paul, B; Rincón, A; Schultze-Kraft, R; Fonte, S; Searchinger, T. (2013). Challenges and opportunities for improving eco-efficiency of tropical forage-based systems to mitigate greenhouse gas emissions. *Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales* 1(2); 156-167. DOI:[10.17138/TGFT\(1\)156-167](https://doi.org/10.17138/TGFT(1)156-167)
- Peters, M; Rao, I; Fisher, M.J; Subbarao, G; Martens, S; Herrero, G; Tiemann, T; Ayarza, M; Hyman, G. (2012). Tropical forage-based systems to mitigate greenhouse gas emissions. En: Hershey, C.H. (Ed.). *Eco-Efficiency: From vision to reality*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 20 p.
- Peters, M; Sotelo, M; Rincón, A; Pérez, O. (s.f). Cultivar Orinoquia (*Brachiaria brizantha* CIAT 26124). Nueva alternativa forrajera para el desarrollo sostenible de la ganadería Colombiana (Manual sin publicar). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Ramirez, A. (2012). A Multi-Stage Almost Ideal Demand System: the case of beef demand in Colombia. DOI: [10.2139/ssrn.2193822](https://doi.org/10.2139/ssrn.2193822)
- Ramírez, A; Seré, C. (1990). *Bracero decumbens* en el Caquetá: Adopción y uso de ganaderías de doble propósito. Proyecto Colaborativo Nestlé de Colombia. Fondo Ganadero del Valle, INCORA, SENA, Universidad de la Amazonia, ICA, y CIAT. Documento de trabajo no. 67. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia.
- Rao, I; Peters, M; Castro, A; Schultze-Kraft, R; White, D; Fisher, M; Miles, J; Lascano, C; Blummel, M; Bungenstab, D; Tapasco, J; Hyman, G; Bolliger, A; Paul, B; Van der Hoek, R; Maas, B; Tiemann, T; Cuchillo, M; Douxchamps, S; Villanueva, C; Rincón, A; Ayarza, M; Rosenstock, T; Subbarao, G; Arango, J; Cardoso, J; Worthington, M; Chirinda, N; Notenbaert, A; Jenet, A; Schmidt, A; Vivas, N; Lefroy, R; Fahrney, K; Guimaraes, E; Tohme, J; Cook, S; Herrero, M; Chacon, M; Searchinger, T; Rudel, T. (2015). LivestockPlus - The sustainable intensification of forage-based agricultural systems to improve livelihoods and ecosystem services in the tropics. *Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales* 3(2); 59-82. DOI: [10.17138/TGFT\(3\)59-82](https://doi.org/10.17138/TGFT(3)59-82)
- Reckling, M; Bergkvist, G; Watson, C.A; Stoddard, F.L; Zander, P.M; Walker, R.L; Pristeri, A; Toncea, I; Bachinger, J. (2016). Trade-Offs between Economic and Environmental Impacts of Introducing Legumes into Cropping Systems. *Frontiers in Plant Science* 7; 1–15. DOI: [10.3389/fpls.2016.00669](https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00669)
- Rincón, A; Caicedo, S. (2010) Establecimiento de pastos en sistemas ganaderos de los Llanos

- colombianos. En: Rincón A; Bueno GA; Álvarez M; Pardo O; Pérez O; Caicedo S. (Eds.), Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos. Corpoica, Villavicencio, Colombia. 75-111 p.
- Rivas, L; Garcia, J; Seré, C; Jarvis, L; Sanin,t L. (1992). Modelo de Análisis de Excedentes Económicos. Cali, Colombia. 107 p.
- Rivas, L. (1997). Modelos Económicos de Nivel Agregado como Instrumento de Apoyo a la Investigación Agropecuaria. En C. Lascano & F. Holmann (Eds.), Conceptos y Metodologías de Investigación en Fincas con Sistemas de Producción Animal de Doble Propósito. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 117–133 p.
- Rivas, L. (2002). Impacto económico de la adopción de pastos mejorados en América Latina tropical. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 38 p.
- Rivas, L. (2004). Resultados, Adopción E Impacto En Los Llanos Orientales de Colombia. Cali.
- Rivas, L.; Holmann, F. (2004a). Impacto de la adopción de híbridos de *Brachiarias* resistentes al salivazo: Colombia, México, y Centroamérica. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Documento de trabajo 195. Cali, Colombia.
- Rivas, L; Holmann, F. (2004b). Impacto económico potencial de la adopción de nuevos híbridos de *Brachiaria* resistentes al salivazo: Llanos Orientales y Costa Norte de Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) [Documento de trabajo no. 199]. Cali, Colombia. 38 p.
- Rivas, L; Holmann, F. (2004c). Impacto económico potencial de la adopción de nuevas *Brachiarias* resistentes a cercópidos. *Pasturas Tropicales* 26(3): 39-55.
- Rogers, E. M. (2003). Diffusion of innovations, 5th edition. Free Press, New York, NY. 551 p.
- Romer, P. M. (1990). "Endogenous Technological Change. *The Journal of Political Economy*, Vol. 98, pp. S71-S102.
- Seré, C; Estrada, R. (1982). Análisis Económico de Sistemas de Ceba En Pastos Mejorados En Los Llanos Orientales de Colombia. En Referencias y Ayudas Utilizadas en el Programa de Capacitación Científica en Investigación para la Producción y Utilización de Pastos Tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 1063-1075 p.
- Seré, C; Estrada, R; Ferguson, J. (1993). Estudios de Adopción e Impacto en Pasturas Tropicales, Investigación con Pasturas en Fincas. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia.

- Seré, C; Estrada, R.D; Ferguson, J.E. (1990). Estudios de adopción e impacto en pasturas tropicales. In: Reunión del Comité Asesor de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales [Documento de trabajo no. 124]. Investigación con pasturas en fincas: RIEPT. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Programa de Forrajes Tropicales, Cali, Colombia. 129-146 p.
- Sotelo, M. (2018, Mayo 17). Entrevista personal.
- Stads, G.-J; Beintema, N. M. (2009). Investigación agrícola pública en América Latina y el Caribe, tendencias de capacidad e inversión.
- Steinfeld, H; Gerber, P; Wassenaar, T; Castel, V; Rosales, M; Haan C. (2009). La larga sombra del ganado problemas ambientales y opciones. Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma
- Tedonkeng, E; Boukila, B; Fonteha, F.A; Tendonkenga, F; Kanaa, J.R; Nanda, A.S. (2007). Nutritive value of some grasses and leguminous tree leaves of the Central region of Africa. *Animal Feed Science and Technology*, 135 (3-4), 273-282 p. DOI:[10.1016/j.anifeedsci.2006.07.001](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.07.001)
- Vera, R.R; Seré R.C. (1989). Resultados obtenidos con *Andropogon gayanus* en las fincas de los productores de ganado. En: Toledo, José M.; Vera, Raúl R.; Lascano, Carlos E.; Lenné, Jillian M. (Eds.). *Andropogon gayanus* Kunth: Un pasto para los suelos ácidos del trópico. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 323-355 p.
- World Bank. (2007). *Agriculture for Development. Agriculture*. Washington, DC. DOI:[10.1596/978-0-8213-7233-3](https://doi.org/10.1596/978-0-8213-7233-3)

## Anexos

## Anexo 1. Definición de indicadores de rentabilidad

Criterio	Fórmula matemática	Interpretación Matemática	Criterio de decisión	Interpretación
Valor Presente Neto-VPN	$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t}$ <p>Donde,  FC: Flujo de beneficios (o costos) netos para el período t  r: La tasa de descuento pertinente  t: El horizonte del proyecto</p>	Suma actualizada (tasa r) al presente (momento cero) de todos los beneficios, costos e inversiones del proyecto de cada periodo.	$\Rightarrow VPN > 0$ , se acepta $\Rightarrow VPN < 0$ se rechaza $\Rightarrow$ si el $VPN = 0$ indiferente	Si este indicador presenta un valor mayor a cero, significa que el dinero al compararlo en el momento cero, no perdió valor en el tiempo, rindió la rentabilidad exigida (costo de oportunidad) y además genero un valor adicional (riqueza adicional).
Tasa Interna de Retorno-TIR	$\sum_{n=0}^t \frac{FC_n}{(1+r^*)^n} = 0$	El la tasa de descuento con la cual el VPN es cero. Es decir es la máxima tasa de descuento que acepta el proyecto	$\Rightarrow TIR > r$ , Se acepta $\Rightarrow$ si la $TIR < r$ , Se rechaza $\Rightarrow$ si la $TIR = r$ , indiferentes	Representa la tasa interna de rentabilidad máxima generada por el proyecto.
Relación Beneficio/Costo	$B/C = \frac{\sum_{n=0}^t \frac{B_t}{(1+r)^n}}{\sum_{n=0}^t \frac{C_t}{(1+r)^n}}$	Cociente del valor presente de los ingresos y los egresos obtenidos a partir de la tasa de oportunidad seleccionada	$\Rightarrow B/C > 1$ , Se acepta $\Rightarrow B/C < 1$ Se rechaza $\Rightarrow B/C = 1$ indiferentes	Establece cuántos pesos se obtienen de beneficios en valor presente, por cada peso de los costos también en valor presente, descontando en ambos casos la tasa de oportunidad del inversionista

## Anexo 2. Álgebra / o Cálculo de beneficio de investigación. Caso de una economía cerrada.

Se parte de las funciones de oferta y demanda para un producto homogéneo:

$$Q_s = \alpha + \beta(P + k) = (\alpha + \beta k) + \beta P \quad (1)$$

$$Q_d = \gamma - \delta P \quad (2)$$

Donde  $k$  es el factor de desplazamiento de la oferta asociado al cambio tecnológico (en la figura 1,  $k = (P_o - d)$  y el cambio en la oferta relativo al precio ( $P$ ) es  $K = \frac{k}{P_o} = \frac{P_o - d}{P_o}$ );  $\alpha, \gamma$  son constantes; y  $\beta, \delta$  los parámetros de las variables respectivas.

Igualando (1) y (2) tenemos:

$$P = \frac{\gamma - \alpha - \beta k}{\beta + \delta}$$

Cuando  $k=0$ , el precio inicial de equilibrio está determinado por:

$$P_0 = \frac{\gamma - \alpha}{\beta + \delta}$$

Cuando  $k=KP_0$ , entonces:

$$P_1 = \frac{\gamma - \alpha - \beta KP_0}{\beta + \delta}$$

El cambio en el precio inducido por la investigación es:

$$(P_1 - P_0) = \frac{-\beta KP_0}{\beta + \delta}$$

El valor absoluto del cambio relativo en el precio viene dado por:

$$\frac{-(P_1 - P_0)}{P_0} = \frac{\beta KP_0}{\beta + \delta}$$

Convirtiendo las pendientes en elasticidades (esto es, multiplicando el numerador y denominador por  $\frac{P_0}{Q_0}$ ) tenemos:

$$\frac{-(P_1 - P_0)}{P_0} = \frac{K\varepsilon}{\varepsilon + n} = Z$$

Donde  $Z$  se define como la disminución proporcional del precio y  $Z_t$  la disminución proporcional del precio en el periodo  $t$ .

**Excedente del consumidor:** En la figura 1, el cambio en el excedente del consumidor está dado por  $\Delta EC = P_0abP_1$ , esto es lo mismo que  $\Delta EC = P_0aeP_1 + aeb = (P_0 - P_1) * Q_0 + 0.5 (P_0 -$

$P_1) (Q_1 - Q_0) = (P_0 - P_1) * Q_0 [1 + 0.5 (Q_1 - Q_0)/Q_0]$ . Usando la definición de  $Z$  se tienen que el cambio anual en el excedente del consumidor se define como:

$$\Delta EC_t = Z_t P_0 Q_0 (1 + 0.5 Z_t n) \quad (3)$$

Donde  $Z_t n = (Q_1 - Q_0)/Q_0$

**Excedente del productor:** En la figura 1, el cambio en el excedente del productor está dado por  $\Delta EP = P_1 b I_1 - P_0 a I_0 = P_1 b c d + d c I_1 - P_0 a I_0 = P_1 b c d$  dado que  $d c I_1 = P_0 a I_0$  bajo los supuestos de un cambio paralelo y lineal de las curvas de oferta y demanda.  $\Delta EP = P_1 b c d = P_1 e c d + b c e = (P_1 - d) Q_0 + 0.5 (P_1 - d) (Q_1 - Q_0)$ . Entonces  $\Delta EP = (P_1 - d) Q_0 [1 + 0.5 (Q_1 - Q_0)/Q_0]$ . Se puede definir  $(P_1 - d) = (P_0 - d) - (P_0 - P_1) = K P_0 - Z P_0$ , y  $Z n = (Q_1 - Q_0)/Q_0$ . Entonces el cambio anual del productor se define como:

$$\Delta EP_t = (K_t - Z_t) P_0 Q_0 (1 + 0.5 Z_t n) \quad (4)$$

Cambio anual en el **excedente total:**

$$\Delta ET = K_t P_0 Q_0 (1 + \frac{1}{2} Z_t n) \quad (5)$$

**Anexo 3.** Estructura de costos de establecimiento para los tratamientos evaluados en los Llanos Orientales (Precios COP\$ 2018).

Actividad	Unidad	<i>B. humidicola/decumbens</i>			<i>B. brizantha 26124</i>		
		Precio Promedio	Cantidad	Valor total promedio	Precio Promedio	Cantidad	Valor total promedio
<b>Preparación terreno</b>							
Pase de cincel	Pase	100,000	1	100,000	100,000	1	100,000
Pase de rastra	Pase	80,000	1	80,000	80,000	1	80,000
Pase de Pulidor	Pase	70,000	1	70,000	70,000	1	70,000
Siembra y aplicación de fertilizantes con encaladora	Pase	60,000	1	60,000	60,000	1	60,000
<b>Subtotal</b>				<b>310,000</b>			<b>310,000</b>
<b>Insumos</b>							
<b>Siembra</b>							
Semilla	kg	57,000	3	171,000	45,000	5	225,000
<b>Control de maleza</b>							
Herbicida pastar (hoja ancha)	lt	40,000	0.5	20,000	40,000	0.5	20,000
Herbicida 720 (hoja ancha)	lt	14,000	2	28,000	14,000	2	28,000
<b>Fertilizantes</b>							
DAP	Bulto (50 kg)	83,000	0.96	79,680	83,000	0.96	79,680
Cloruro de potasio	Bulto (50 kg)	65,000	0.94	61,100	65,000	0.94	61,100
Sulpomag	Bulto (50 kg)	80,000	2	160,000	80,000	2	160,000
Urea	Bulto (50 kg)	65,000	4.16	270,400	65,000	4.16	270,400
Cal dolomita	Bulto (50 kg)	12,000	8	96,000	12,000	8	96,000
Yeso agrícola	Bulto (50 kg)	27,000	2	54,000	27,000	2	54,000
<b>Insecticida</b>							
Lorsban	lt	35,000	2	70,000	35,000	2	70,000
<b>Subtotal</b>				<b>1,010,180</b>			<b>1,064,180</b>
<b>Mano de obra</b>							
Siembra de pasto	Jornal	45,000	0.5	22,500	45,000	0.5	22,500
Aplicación de agroquímicos	Jornal	45,000	1	45,000	45,000	1	45,000
<b>Subtotal</b>				<b>67,500</b>			<b>67,500</b>
<b>Costo total /hectárea</b>				<b>1,387,680</b>			<b>1,441,680</b>

**Anexo 4.** Costos cerca eléctrica por hectárea bajo manejo rotacional.

Rubro	Unidad	Unidades /hectárea	Valor por unidad	Costo por hectárea
<b>Insumos</b>				
Postes templetes 10-12 cm	Unidad	5	19,000	95,000
Astillas 8-9 cm	Unidad	29	15,000	435,000
Alambre galvanizado calibre 12.5	kg	50	4,800	240,000
Tensores metálicos 500 m	Unidad	12	2,600	31,200
Aislador pivote	Unidad	87	200	17,400
Aislador terminal	Unidad	24	700	16,800
Mangueras	M	3	600	1,800
Alambre aislador	M	3	1,800	5,400
Alambre de cobre	M	15	950	14,250
Juego de broches	Unidad	1	7,500	7,500
Puntillas	Caja	1	5,000	5,000
<b>Total materiales para cerca</b>				<b>869,350</b>
Varillas de cooperwels	Unidad	5	13,000	65,000
Impulsor B4000	Unidad	1	220,000	220,000
Regulador solar 12v	Unidad	1	95,000	95,000
Panel solar (40 watt y 12v)	Unidad	1	195,000	195,000
Batería (35 amp y 12 v)	Unidad	1	202,600	202,600
Cuchilla doble tiro	Unidad	1	10,400	10,400
Desviador de rayos	Unidad	1	23,300	23,300
Estructura metálica (tubo y cajón)	Unidad	1	328,000	328,000
<b>Total equipos eléctricos para cerca</b>				<b>1,139,300</b>
Mano de obra construcción de cercas	jornal	3	32,000	96,000
<b>Total mano de obra</b>				<b>96,000</b>
<b>Total</b>				<b>2,104,650</b>

**Anexo 5.** Costos de mantenimiento para los dos tratamientos evaluados (precios 2018)

Detalle	Unidad	Cantidad/ha	Precio unitario (/unidad)	Valor total (COP)
Aplicación fertilizante (voleadora)	pase	<b>1</b>	70,000	70,000
DAP	Bulto (50 kg)	0.3	83,000	24,900
Cloruro de potasio	Bulto (50 kg)	1.16	65,000	75,400
Sulpomag	Bulto (50 kg)	1	80,000	80,000
Urea	Bulto (50 kg)	2	65,000	130,000
Rondup	Litro	2	25,000	50,000
<b>Total agroquímicos</b>				<b>430,300</b>
Fertilización	Jornal	0.5	45,000	22,500
Control de malezas	Jornal	1	45,000	45,000
<b>Total mano de obra</b>				<b>67,500</b>
<b>Total mantenimiento</b>				<b>497,800</b>

